

fizikai szemle



2018/3

nka

MAGYAR TUDÓSOK ÉS MŰVÉSZEK SZÜLŐHÁZA

- akik Nyugaton alakították a 20. század történelmét és kultúráját

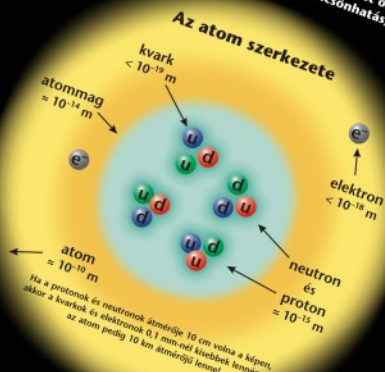
AZ ELEMI RÉSZECSKÉK ÉS ALAPVETŐ KÖLCSÖNHATÁSOK Standard Modellje

Az elemi részecskékre és alapvető kölcsönhatásokra vonatkozó jelenlegi ismereteinket összegzi a Standard modell, amely az erős és egyesített elektromágneses kölcsönhatások elmélete. A gravitáció, jóllehet alapvető kölcsönhatás, nem része a Standard modellnek.

Az elemi részecskékre és alapvető kölcsönhatásokra vonatkozó jelenlegi ismereteinket összegzi a Standard modell, amely az erős és egyesített elektromágneses kölcsönhatások elmélete. A gravitáció, jóllehet alapvető kölcsönhatás, nem része a Standard modellnek.

leptonok (spin = 1/2)	jel/név	tömeg GeV/c ²	elektromos töltés
elektron	e ⁻	< 10 ⁻⁶	0
neutrínó	ν _e	0,000511	-1
muon	μ ⁻	< 0,0002	0
tauon	τ ⁻	0,106	-1
antielektron	e ⁺	< 0,02	0
antimuon	μ ⁺	1,7771	-1

1 eV = 1,60 · 10⁻¹⁹ J.



Bozonok – a kölcsönhatások közvetítői, spinjük: 0, 1, 2...

erős – a kölcsönhatások közvetítői, spinjük: 0, 1, 2...	jel/név	tömeg GeV/c ²	elektromos töltés
gluon	g	0	0

Szintöltés: a kvarkok és gluonok „szintöltést” hordoznak. A kvarkok három-, a gluonok nyolcféle „színűek” lehetnek. Kvarkok és gluonok szabadon nem léteznek. Őket a szintöltések kötik össze. Őket a szintöltések kötik össze. Őket a szintöltések kötik össze.

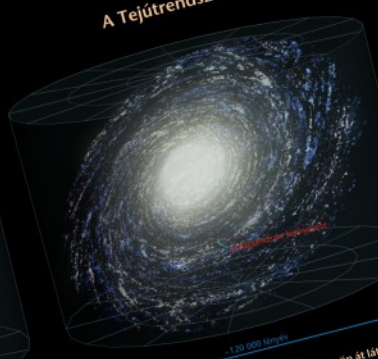
elektromágneses – a kölcsönhatások közvetítői, spinjük: 0, 1, 2...	jel/név	tömeg GeV/c ²	elektromos töltés
gamma-foton	γ	0	0

A kölcsönhatások tulajdonságai

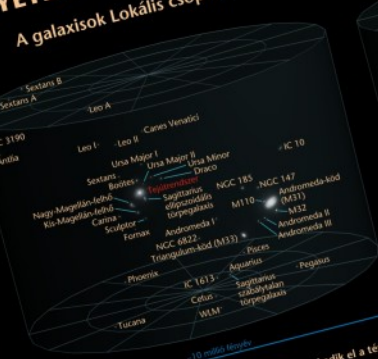
kölcsönhatás	erős	elektromágneses	gyenge
szintöltés	erős	gyenge	gyenge
kvarkok, gluonok	erős	gyenge	gyenge
gluonok	erős	gyenge	gyenge
hadronok	erős	gyenge	gyenge
mezók	erős	gyenge	gyenge

HELYÜNK A VILÁGEGYETEMBEN

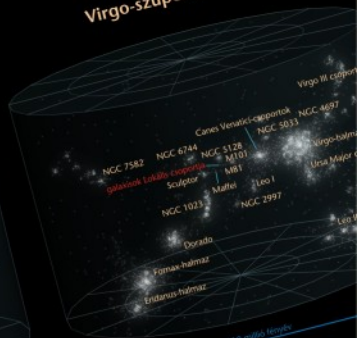
A Tejútrendszer



A szabad szemmel látható csillagok – a csak távcsővön át látható társakkal együtt – galaxisunk, a Tejútrendszer tagjai. A Tejút derengő sávja valójában halvány csillagok összemosódó fénye. A Tejútrendszer spirális galaxis: a csillagok zóna a csillagközi anyag nagy részével együtt spirális csillagok mentén tömörül. Becslések szerint a Tejútrendszert 200 milliárd csillag alkotja.



A galaxisok túlnyomó többsége nem elszórtan helyezkedik el a térben, hanem csoportosulva. Néhány tucat tagból állnak a galaxiscsoportok, és több száz vagy akár ezer tagja is van a galaxis-halmazoknak. A Tejútrendszer a Lokális csoportba tartozik körülbelül 60 ismert galaxisal együtt. E csoport meghatározó tagjai a Tejútrendszeren kívül az Andromeda-kód (M31) és a Triangulum-kód (M33) – mindhárom spirális galaxis. Mellette számos szabálytalan és ellipszoidális törpegalaxis alkotja a Lokális csoportot.



A galaxis-halmazok még nagyobb egységekbe, úgynevezett szuperhalmazokba szerveződnek. A Lokális csoport (bennünk is) a Virgo-szuperhalmaz részét képezi.

A Naprendszer környezete



A Naprendszer nem ér véget a Kuiper-övnél, kifelé még az űstökösök tartományáig. A Naphoz legközelebbi csillag, a Proxima Centauri, 4,2 fényévre van tőlünk. A csillagok nem egyforma méretűek, ezért egy csillag látszó fényességéből nem lehet következtetni a távolságára. A csillag fényteljesítménye (luminositása) a felszíni hőmérsékletétől és az átmérőjétől függ. Az égbolt legfényesebb csillaga, a Sirius 8,6 fényévre van tőlünk, jó néhány csillag ennél közelebbi. A legfényesebb csillagokra egyedi tulajdonságaikkal, a haláluk utáni állapotukkal és a csillagfajlagosságukkal kapcsolatos információkkal hivatkoznak.

ÉNERGIÁHÁZTARTÁSA



POSZTEREINKET KERESD A FIZIKAISZEMLE.HU MELLÉKLETEK MENÜPONTJÁBAN!

A poszterek szabadon letölthetők, kinyomtathatók és oktatási célra, nonprofit felhasználhatók. Kereskedelmi forgalomba nem hozhatók, változtatás csak a Fizikai Szemle engedélyével lehetséges. A kirakott poszterekről fényképet kérünk a szerkesztok@fizikaiszemle.hu címre.





MÁRCIUS

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat elnöksége legutóbbi, februári ülésén – egyebek között – a *Fizikai Szemlével* is foglalkozott. Jóváhagyta a szerkesztőbizottság némileg megváltozott összetételét. (Már előző lapszámunk is az új szerkesztőbizottság névsorával jelent meg.) A régóta változatlan összetétel megváltoztatását több dolog indokolta. A legfontosabb ok, hogy néhány tag – más feladataira vagy korára való tekintettel – nem vállalta tovább a tagságot. A lemondott tagoknak, *Faigel Gyulának*, *Gyulai Józsefnek*, *Németh Juditnak* és *Szatmáry Zoltánnak* köszönjük eddigi tevékenységüket. A változtatások további célja, hogy a szerkesztőbizottságban a magyarországi fizika minden fontos kutatóhelye és a fizika minden részterülete képviselve legyen.

A Társulat alapszabályának megfelelően a szerkesztőbizottságba két tagot az MTA Fizikai Tudományok Osztálya delegálhat. A XI. Osztály *Biró László Pétert* és *Gyürky Györgyöt* bízta meg. *Biró László Péter* az MTA levelező tagja, az MTA Energiatudományi Kutatóközpont Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézete Nanoszerkezetek Osztályának kutatóprofesszora, akinek örömmel gratulálunk most elnyert Széchenyi-díjához, amit a szén alapú nanoszerkezetek és nanoarchitektúrák kutatásában elért, széles körű nemzetközi elismerést kiváltó eredményei, a nanométeres skálájú anyagtudomány hazai meghonosításában játszott szerepe, valamint iskolateremtő oktatói tevékenysége elismeréseként kapott. *Gyürky György* az MTA doktora, az MTA Atommagkutató Intézet tudományos tanácsadója, kutatási területe nukleáris asztrofizika. 2008-ban elnyert egy ERC Starting Grant projektet, az ELFT Magfizikai Szakcsoportjának elnöke.

A főszerkesztő által felkért és az ELFT elnöksége által jóváhagyott új tagok: *Hebling János*, *Koppa Pál*, *Simon Ferenc* és *Takács Gábor*. *Hebling János* professzor, az MTA doktora, a Pécsi Tudományegyetem Kísérleti Fizika Tanszékének vezetője, kutatási területe lézerfizika, ultrarövid THz-es impulzusok előállítása. *Koppa Pál* az MTA doktora, egyetemi tanár, a BME Természettudományi Kar Atomfizika Tanszékének vezetője, kutatási területe korszerű optikai technológiák és alkalmazások. *Simon Ferenc* az MTA doktora, a BME Természettudományi Kar Fizika Tanszékének professzora, ERC és Lendület pályázatok nyertese. Szakterülete szilárdtestfizika, kondenzált anyagok fizikája, spintronika, az ELFT Szilárdtestfizikai Szakcsoport titkára. *Takács Gábor* az MTA doktora, a BME Természettudományi Kar Elméleti Fizika Tanszékének professzora, az MTA–BME „Lendület” Statisztikus Térelméleti Kutatócsoport vezetője. Szakterülete kvantumfizika, statisztikus térelmélet.

A szerkesztőbizottság valamennyi új tagjának köszönöm, hogy számos egyéb feladatuk mellett is vállalták a *Fizikai Szemle* támogatását.

A februári elnökségi ülés másik, a Szemlét érintő határozata, hogy ezentúl évenként két *Fizikai Szemle Nívódíjat* adhatunk: egyet a fizika tanításával és egyet a fizika tudománnyal, illetve tudománytörténettel foglalkozó írásért. A díjakról a szerkesztőbizottság dönt és azok a Társulat éves küldöttközgyűlésén – legközelebb 2018. május 12-én – kerülnek átadásra.

Bízom benne, hogy a megújult szerkesztőbizottság segítségével sikerül megőriznünk a Szemle értékeit, de ebben továbbra is számítunk valamennyi fizikus és fizikatanár kollégánk támogatására: örömmel veszünk híreket, észrevételeket, véleményeket, tanácsokat, de amire leginkább szükségünk van az minél több érdekes és színvonalas cikk. Becsüljük meg egymást azzal is, hogy tájékoztatjuk a szakmai közvéleményt saját vagy környezetünk érdekes új eredményeiről.

Lendvai János
Lendvai János
főszerkesztő

Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

A Matematikai és Természettudományi Értesítőt az Akadémia 1882-ben indította
A Matematikai és Fizikai Lapokat Eötvös Loránd 1891-ben alapította

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat havonta megjelenő folyóirata.

Támogatók: a Magyar Tudományos Akadémia Fizikai Tudományok Osztálya, az Emberi Erőforrások Minisztériuma, a Magyar Biofizikai Társaság, a Magyar Nukleáris Társaság és a Magyar Fizikushallgatók Egyesülete

Főszerkesztő:
Lendvai János

Szerkesztőbizottság:
Bencze Gyula, Biró László Péter, Czitrovszky Aladár, Füstöss László, Gyürky György, Hebling János, Horváth Dezső, Horváth Gábor, Iglói Ferenc, Kiss Ádám, Koppa Pál, Ormos Pál, Papp Katalin, Simon Ferenc, Simon Péter, Sükösd Csaba, Szabados László, Szabó Gábor, Takács Gábor, Trócsányi Zoltán, Ujvári Sándor

Műszaki szerkesztő:
Kármán Tamás

A folyóirat e-mailcíme:
szerkesztok@fizikaiszemle.hu
A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A beküldött tudományos, ismeretterjesztő és fizikatanítási cikkek a Szerkesztőbizottság, illetve az általa felkért, a témában elismert szakértő jóváhagyó véleménye után jelenhetnek meg.

A folyóirat honlapja:
<http://www.fizikaiszemle.hu>



A címlapon:
Koronakitörés 2012. augusztus 31-én a Solar Dynamics Observatory felvételén. A kitörést követően, szeptember 3-án sarki fénycsöket észleltek (NASA/SDO). Lásd a nyitó írást a 75. oldaltól. Az alábbi youtube-helyen videó tekinthető meg:



TARTALOM

Március (<i>Lendvai János</i>)	73
<i>Gombosi Tamás, Kecskeméty Károly: Viharok a világűrben</i> <i>Az űridőjárást alakító tényezők és a Földön jelentkező hatások áttekintése</i>	75
<i>Radnóczi György, Bert Braeckman, Diederik Depla, Misják Fanni:</i> Nagyentrópiás ötvözet-vékonyrétegek szerkezete <i>Az újonnan megjelent, legalább 5 ötvöző elemből álló nagyentrópiás ötvözetek vékonyrétegeként is ígéretesek</i>	81
<i>Horváth Gábor, Takács Péter, Barta András, David Pye: A vízfelszín</i> Brewster-féle sötét foltnak polarizáció-optikája – 2. rész <i>Egy szabad szemmel is sokszor észlelhető optikai jelenség részletes tárgyalása – e részben a fényképezés és a festmények</i>	86

A FIZIKA TANÍTÁSA

<i>Medvegy Tibor: Kevésbé ismert demonstrációs kísérletek cseppfolyós nitrogénnel</i> <i>Harminc kísérlet cseppfolyós nitrogénnel</i>	89
<i>Szokmány Csaba: Microsoft Excel program használata a természet-tudományok tanításában</i> <i>A program, mint oktatási segédeszköz az adatfeldolgozásban és a számítások könnyítésében</i>	95
<i>Papp Katalin, Flach Fanni, Molnár Milán: A kisgyermekkori</i> természettudományos nevelés itthon és külföldön – helyzetkép <i>Húsz év, hat TIMSS-felmérés eredményei, különös tekintettel a 2015. évi legfrissebbre</i>	101

HÍREK – ESEMÉNYEK

Bródy Imre Országos Fizika Kísérletverseny – felhívás jelentkezésre	107
Tudós leszek fizikából – feladatmegoldó szakkör az ELTE-n	108

KÖNYVESPOLC

Diósi Lajos: Bevezetés a kvantuminformáció-elméletbe (<i>Geszti Tamás</i>)	108
--	-----

T. Gombosi, K. Kecskeméty: Cosmic storms
G. Radnóczi, B. Braeckman, D. Depla, F. Misják: Structure of high entropy alloy thin layers
G. Horváth, P. Takács, A. Barta, D. Pye: Polarization optics of the Brewster's dark patch visible on water surfaces – part II

TEACHING PHYSICS

T. Medvegy: Little-known demonstrations with liquid nitrogen
Cs. Szokmány: Use of Microsoft Excel in science teaching
K. Papp, F. Flach, M. Molnár: Survey on early childhood science education in Hungary and other countries

EVENTS, BOOKS

Fizikai Szemle
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését támogatják:



VIHAROK A VILÁGŰRBEN

Gombosi Tamás – University of Michigan, USA

Kecskeméty Károly – MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont

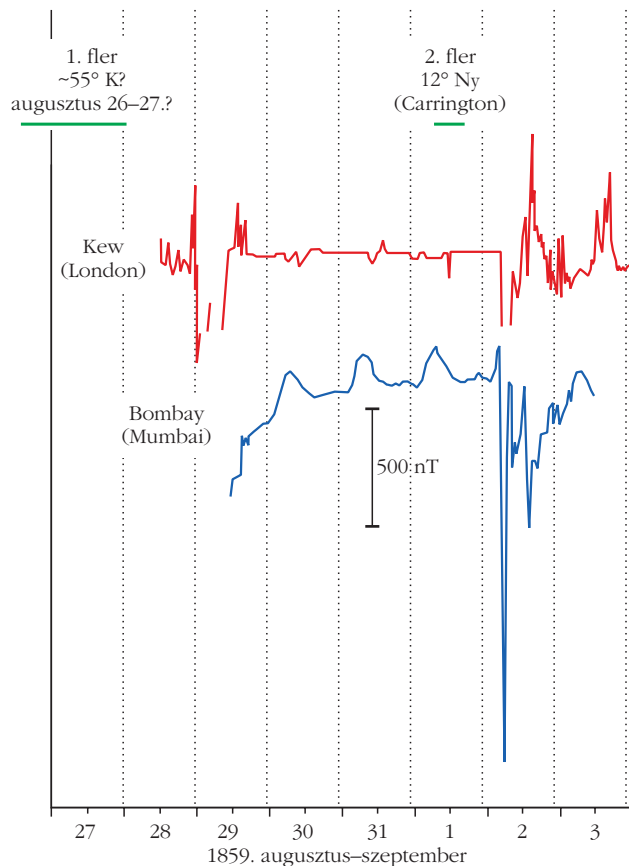
Hogyan jöhetnek létre viharok a világűrben, hiszen a bolygóközi tér a hétköznapi elképzelés szerint üres? Az űrkorszak kezdete előtt még a legtöbb fizikus és csillagász sem gondolta másképp. De a természet mindig okosabb és ötletesebb, mint mi: mindig kitalál valamit, ami – a kutatókat megszégyenítve – minden elméletet megcáfol.

A bolygóközi tér valójában nem üres, igaz, anyaga 25 nagyságrenddel ritkább, mint például a földi levegő, sőt még annál is 11 nagyságrenddel ritkább, mint az a vákuum, amit a Földön – a CERN LHC gyorsítójában – jelenleg egyáltalán képesek vagyunk előállítani. Az űrt kitöltő gáz teljesen ionizált, plazma halmazállapotú. A Föld tulajdonképpen a Nap légkörében kering, amely nem stabil, mivel külső tartományából, a napfogyatkozások idején előtűnő napkoronából folyamatosan elszökik az anyag. A híg, nagy sebességgel kifelé áramló mágnesezett forró plazma, a napszél betölti a Naprendszer belső tartományait, a helioszférát. A Nap az állandó elektromágneses sugárzáson és a napszálon kívül időnként sűrűbb plazmafelhőket is kibocsát, amelyek akár 1 nap alatt is elérhetik a Földet. A Nap aktivitásának más megjelenési formáit a látható fényben észlelhető napfoltok és az ezek környékén – elsősorban ultraibolya- és röntgentartományban – felvillanó flarek képviselik. Ezzel minden adott a földi időjárással való analógiához, amelynek alapján a Nap–Föld-kapcsolatok jelenségeköre az űridőjárás nevet kapta. A mai definíció szerint az űridőjárás olyan körülményeket jelent a Napon, a napszél-

ben, a magnetoszférában, az ionoszférában, amelyek befolyásolhatják a technológiai rendszereket és veszélyeztethetik az emberi életet és egészséget.

Az űridőjárás első gyakorlati megnyilvánulását 1859-ben élte át civilizációnk. Két angol amatőr csillagász, *Richard Carrington* és *Richard Hodgson* szeptember 1-jén egymástól függetlenül ugyanazt a nagy napfoltcsoportot figyelte meg, amikor a foltcsoporton belül erős kifényesedésre figyeltek fel. Carrington később szerzett tudomást arról, hogy az angliai Kew Observatórium földmágneses észleléseiben szeptember 2-án *Balfour Stewart* a mágneses térerősség hirtelen lecsökkenését és irányváltozását észlelte (az 1. ábra a földi mágneses tér változását mutatja Londonban és Bombayben két, egymást követő napkitörés során). A mágneses vihar jelensége már korábban ismert volt: *Alexander von Humboldt* 1806. december 21-én észrevette, hogy egy látványos sarki fény idején iránytűje zavart mutatott a mágneses térben. 1859. szeptember 2-án reggelre a zavarok a sarki fénnel együtt eltűntek. Később kiderült, hogy a mágneses viharral egyidejűleg nemcsak rendkívül erős sarki

1. ábra. A földmágneses térerősség változása a Carrington-esemény során.



A cikk *Gombosi Tamásnak* az MTA külső tagjaként 2017. április 26-án elhangzott székfoglaló előadása alapján készült.



Gombosi Tamás az MTA külső tagja, 1970 és 1985 között az MTA KFKI tudományos munkatársa, illetve tanácsadója, 1987 óta a Michigan Egyetem űrfizika-professzora. Kutatásait az űridőjárás témakörében végzi, megalapította az egyetem Űrkörnyezet-modellező Központját. Munkatársával együtt kifejlesztették az első globális űrkörnyezetmodellt, amelyet a NASA és az Egyesült Államok űridőjárás-előrejelző szolgálata is használ.



Kecskeméty Károly 1974-ben végzett az ELTE-n fizikusként, a Wigner Fizikai Kutatóközpont tudományos tanácsadója. Kutatási területe az űridőjárás, szoláris kozmikus sugárzás, az üstökösök plazmakörnyezete. Társutató többek között a SOHO, STEREO, CLUSTER és a BepiColombo űrmissziókban.

fény jelent meg szokatlanul alacsony földrajzi szélességeken (például a Karib-szigeteken és Kolumbiában), hanem a földi távírók is „megőrültek”. A híradások szerint szikrák csaptak ki a gépekből, amelyek meggyújtották a távírópapírt és megégették a gépeket. A gépek még akkor is órákon át működtek, miután őket lekapcsolták az áramforrásról. Az elektromágneses indukció jelenségét akkor még nem értették, és a korabeli sajtó arról írt, hogy a távírók „menyei erőforrást” használtak. Carrington arra következtetett, hogy a három jelenség összefügg, és a Napon észlelt jelenségnek közvetlen hatása lehet a Földre, ezzel felfedezte az űridőjárást.

A földmágneses viharok jelenségére *Chapman és Ferraro* 1931-ben adta meg a helyes magyarázatot. Feltételezésük szerint, amikor a Napon egy fler jelenik meg, akkor a Nap az elektromágneses sugárzással egyidejűleg egy plazmafelhőt is kibocsát (ezt nevezzük ma koronakitörésnek), amely a Földet szelintük 113 nap alatt éri el. A magyarázat ma is megállja a helyét, a plazmafelhő azonban sokkal gyorsabban mozog a feltételezetténél, csak 1-5 napra van szüksége, hogy elérje a Föld pályáját. Azonban még mindig nem volt nyilvánvaló, hogy létezik-e közeg a Nap és a Föld között, amelyben ez a plazmafelhő terjed. *Kristian Birkeland* norvég kutató már 1913-ban feltételezte, hogy az űrt „elektronok és mindenféle elektromos ionok töltik be”. *Eugene Parker* ismerte fel, hogy miután a napkorona nem lehet hidrosztatikus egyensúlyban a Naptól távol, és hogy Chapman napkorona hővezetés-számításai, illetve *Biermann* üstökösöcsőva-megfigyelései a Napból származó állandó plazmaárammal magyarázhatók, amelyet napszélnek nevezett el. Parker az 1950-es évek közepén dolgozta ki a szuperszonikus napszél elméletét, és mutatta meg, hogy a Nap kifelé gyengülő gravitációs tere a szubszonikus kiáramló plazmára úgy hat, mint a rakéták Laval-fúvókája: szuperszonikusra gyorsítja az áramlást. Azt is megmutatta, hogy a napszél mágneses terének arkhimédészi spirál¹ alakúnak kell lennie. Az elméleti jóslatok helyességét a napszél 1959-ben történt első kísérleti megfigyelése (*Konstantin Gringauz* a Luna-1 űrszonda mérési alapján) bizonyította be.

Az égi jelenségek több ízben, jelentősen befolyásolták a történelem alakulását. Ha hihetünk Hérodotosznak, a Thalész által megjósolt, i. e. 585-ben a mai Törökország területének keleti részén megfigyelt napfogyatkozás például a médek és a lüdök között 6 éve tartó háborúnak vetett véget. Nemrégén került csak

nyilvánosságra [1] az a tény, hogy még 1967-ben, a hidegháború idején egy űridőjárási esemény miatt kis híján kitört a harmadik világháború. Május 23-án ugyanis az amerikai Ballistic Missile Early Warning System radarrendszer Északi-sark környékén működő, a szovjet rakéták észlelésére szolgáló radarjait ismeretlen zavaró források használhatatlanná tették. Annak ellenére, hogy a Szovjetunió nem lőtt ki egyetlen rakétát sem, a hidegháború idején az előrejelző radarok szándékos használhatatlanná tétele háborús cselekménynek számított. Szerencsére a meteorológiával, vízügygel, geodéziával kapcsolatos tevékenységeket felügyelő amerikai Environmental Science Services Administration (a NOAA – Légkör és Óceán Ügynökség elődje) már napok óta követte a szokatlan napfolttevékenységet, és időben riasztotta a légierőt a radarokat zavaró napkitörésre.

Az űridőjárást alakító fő tényezők

Napszél

Csillagunk légkörében felfelé haladva a hőmérséklet rohamosan emelkedik, a fotoszféra 5800 K értéktől a napkoronában néhány ezer km-en belül 2 millió kelvint ér el. A napkorona nem stabil, a gravitáció és az intersztelláris közeg nyomása nem képes az ionizált légkört a Naphoz kötni, belőle folyamatosan, hatalmas sebességgel áramlik ki a napszélnek nevezett forró plazma, és tölti be a helioszférát. A plazma néhány millió km-en belül eléri vége sebességét, a Nap egyenlítője körüli övben lassúbb és változékonyabb (250–750 km/s), a sarkok közelében gyorsabb (~800 km/s) és egyenletesebb. A gyors napszél a koronában megfigyelhető sötétebb koronalyukakból ered. Az áramlás a lokális hanghullámoknál és Alfven-hullámoknál is gyorsabb. A plazmában levő ionok (döntő többségben protonok) sűrűsége a Föld pályájánál átlagosan 3-6 részecske/cm³. A napszélplazma termikus egyensúlyban van, a lassú napszélben a protonok hőmérséklete átlagosan 100 000 K körüli, az elektronoké ennél körülbelül 50%-kal magasabb. A kis sűrűség miatt a részecskék Coulomb-szóródása elhanyagolhatóan ritka, az ütközési szabad úthossz a földpályánál eléri a 10⁸ km-t, így a plazma gyakorlatilag ütközésmentes. A napszél mintegy buborékot fúj a még ritkább csillagközi plazmába, mintegy 100 Nap-Föld-távolságig szuperszonikusán áramlik, ott lelassul és lökéshullám alakul ki.

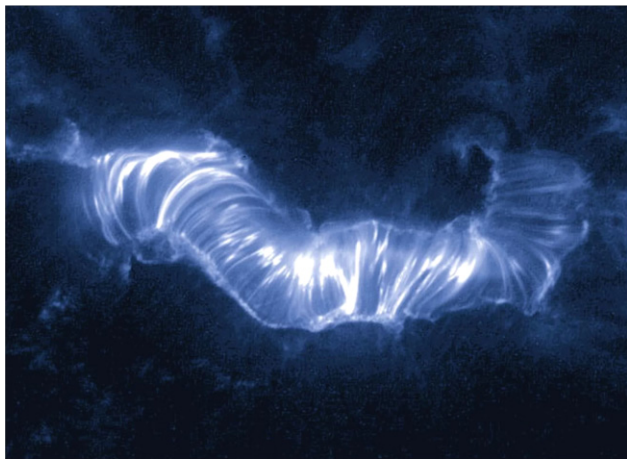
A Nap mágneses tere

Csillagunk globálisan dipólus jellegű mágneses terét a benne működő mágneses dinamó hozza létre. A dinamó alapja az, hogy a globális tér egy, a szélességi körökkel párhuzamos és egy meridionális irányú komponensre bontható. A két összetevő a Nap aktivitási ciklusa folyamán egymásba alakul át, amelyben a különböző szélességeken eltérő forgási sebessége (differenciális rotáció) fontos szerepet játszik. Az északi és déli féltekén a mágneses polaritás ellentétes,

¹ Az arkhimédészi spirál olyan spirális síkgörbe, amely azon pontok mértani helye, amelyeket mozgása során egy rögzített ponttól állandó sebességgel mozgó és ugyanazon rögzített pont körül egyenletes szögsebességgel forgó pont pillanatnyilag elfoglal. Ezt az $(r; \phi)$ polárkoordinátákkal a következő egyenlet is leírja:

$$r = a + b\phi,$$

ahol a és b valós számok. Az a paraméter megváltoztatása elfordítja a pólus körül a görbét, a b paramétertől pedig a sorban következő fordulatok közötti távolság függ. (Wikipedia)



2. ábra. Mágneses hurkokból álló árkád a 2000. július 14-i flar fel-fénylése után a TRACE műhold felvételén (NASA).

a globális tér átlagosan 11 évenként megfordul. A napszél nagy elektromos vezetőképessége révén magával ragadja a mágneses teret, és a Nap forgása folytán egy arkhimédészi spirál formájú mágneses teret alakít ki a helioszférában. Az északi és déli polaritású térrészt elválasztó felület hullámos áramlepel, amelynek hullámossága a napaktivitással növekszik.

Naptevékenység

Az aktív tartományokban, amelyeket a Nap felszínén napfoltokként látunk, a globális mágneses térnél sokkal erősebb lokális mágneses terek alakulnak ki. A napfoltokat kétféle mágneses polaritás jellemzi, az ellentétes polaritású napfoltokat összekötő mágneses fluxuscsovek között pedig időnként átkötődés jön létre, amelynek révén hatalmas mágneses energia szabadul fel, több millió fokra hevítve a plazmát. A köznyelvben napkitörésnek nevezett jelenség egymással nem szigorúan összefüggő megnyilvánulásai a flarek, az eruptív protuberanciák, a koronakitörések és a nagy energiájú töltött részecskék kibocsátása.

Fler

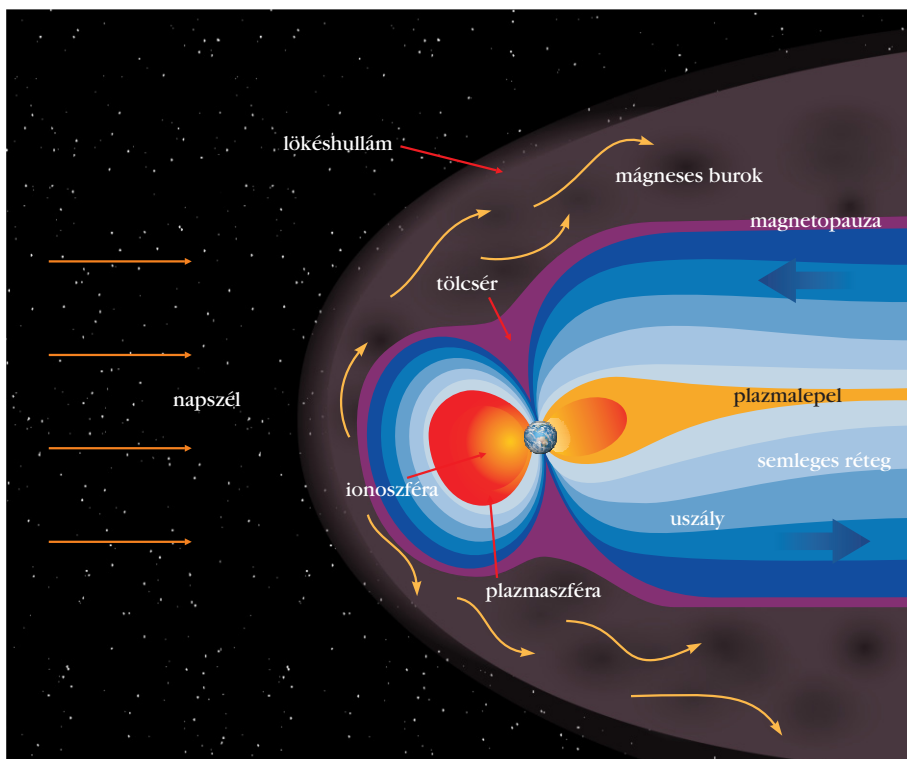
A plazmában létrejövő instabilitás erős, koncentrált ki-fényesedést hoz létre a fotoszférában igen széles elektromágneses spektrumban, a rádióhullámoktól kezdve egészen a röntgen- és gamma-sugárzásig (2. ábra). A jelenség többnyire 10 perc és 1 óra közti idő alatt zajlik le. A legnagyobb flarek összenergiája meghaladja a 10^{25} J értéket. A flerekben felszabaduló mágneses energia jelentős része

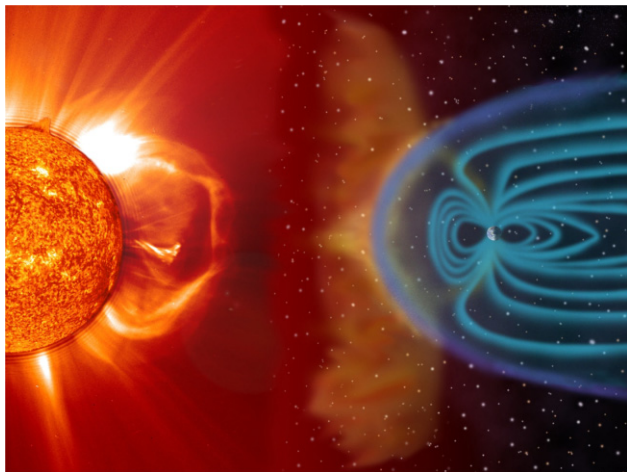
ionok és elektronok felgyorsítására fordítódik, az ionok igen nagy, 10 GeV energiát is elérhetnek. A részecskék fluxusának akár 3-5 napig tartó sok nagyságrendű megnövekedését *szoláris energikus részecskeeseménynek* (solar energetic particle – SEP – event) nevezzük. A *protuberanciák* (prominence) az aktív területek felett lebegő, a környezetüknél sűrűbb és hidegebb felhők egy része eruptív: gyorsulva felemelkedik és elhagyja a Napot. A fentiekkel gyakran együtt, de nem teljesen korreláltnak mennek végbe a *koronakitörések* (coronal mass ejection, CME). Ezek során egy-egy nagy plazmacsomag növekvő sebességgel mozog felfelé, amit az tesz lehetővé, hogy az aktív tartomány fölött elhelyezkedő mágneses fluxuscsovek elszakadnak az alattuk levőktől. A plazmafelhő végül elhagyja a Napot, és nagy, esetenként a napszélnél jóval nagyobb (akár 2500 km/s) sebességet elérve jut ki a bolygóközi térbe (lásd a *címlapot*). A felfűvődő plazmacsomag hurokszerű mágneses fluxuscsoveket hoz létre, amelyek talppontjai a koronában vannak. A Nap aktivitása közel periodikusan változik, két minimum közötti ciklusa átlagosan 11 év hosszúságú. A maximum idején történik meg a polaritásváltás, így a teljes ciklus 22 éves. A jelenlegi, 24. napciklus 2013-ban érte el maximumát, azóta a naptevékenység csökken a 2020 környékére várható minimumig.

A Föld magnetoszférája

Ez a Föld körül kialakuló plazmatartomány (3. ábra). A Föld dipólus mágneses tere a napszélnel való kölcsönhatás következtében módosul: a nappali oldalon összenyomódik, az éjszakai oldalon csóva alakul ki.

3. ábra. A földi magnetoszféra tartományai.





4. ábra. Koronakitörés lökéshulláma eléri a magnetoszférát (NASA).

Mi történik, amikor a Föld űrviharba kerül?

A napszélben terjedő tranziens struktúrák, koronakitörések, nagy sebességű nyalábok, lökéshullámok, szakadási felületek megzavarják a bolygóközi mágneses teret, és kölcsönhatásba lépnek a magnetoszférával. A zavartság mértékét többféle indexszel lehet jellemezni. A Dst index a földmágneses tér vízszintes összetevője globális átlagának változását mutatja a mágneses egyenlítőnél: -50 nT alá történő csökkenés *földmágneses vihart*, -250 nT érték szupervihart jelent, a Carrington-eseménynél² Dst értéke -1760 nT lehetett. A mágneses vihar során a napszélben terjedő lökéshullám megnövekedett nyomása összenyomja a magnetoszférát (4. ábra), benne és az ionoszférában megnőnek az elektromos áramok. Amikor a napszél mágneses tere déli polaritású, akkor a nappali oldalon erővonal-összekapcsolódás (reconnection) történik, mágneses energiát és gyorsított ionokat juttatva a magnetoszférába. Az ionoszférára jelentősen módosul, és a mágneses pólusok közelében sarki fény jelenhet meg.

Földi hatások

A flerből származó elektromágneses sugárzás (röntgen, EUV, rádióhullám) 8 perc alatt éri el a Földet, a kommunikációt interferencia miatt megszakíthatja, illetve rövidhullámon rádiózavart okoz.



² Az 1859-ben történtekről szimuláció tekinthető meg a QR-kód által mutatott www.youtube.com/watch?v=dVS4Q4VgDxk linken.

Az SEP esemény nagyenergiájú (MeV–GeV) ionjai 15 perc – 1 óra alatt érkeznek meg, áthatolva az űrszonda burkolatán, és dielektromos feltöltődés miatt bithibákat okozva. Ez irányítási zavart és hamis szenzorleolvasásokat okozhat. Repülőgépeken megnövekszik az utasok sugárterhelése, főként a mágneses pólusok fölötti repüléseknél. A földmágneses viharokért felelős koronakitörések alacsonyabb (<100 keV) energiájú ionjai és elektronjai a műholdak felületi elektrosztatikus feltöltődését és károsítását hoznak létre.

Ionoszférazavarok

A rádióhullámok szóródnak, elnyelődnek, a telekommunikáció megszakad, a GPS helymeghatározása pontatlanná válik. Az űrhajósok fokozott sugárterhelésnek vannak kitéve (elsősorban űrséta során), az ionizáló sugárzás károsítja a sejtek DNS-ét.

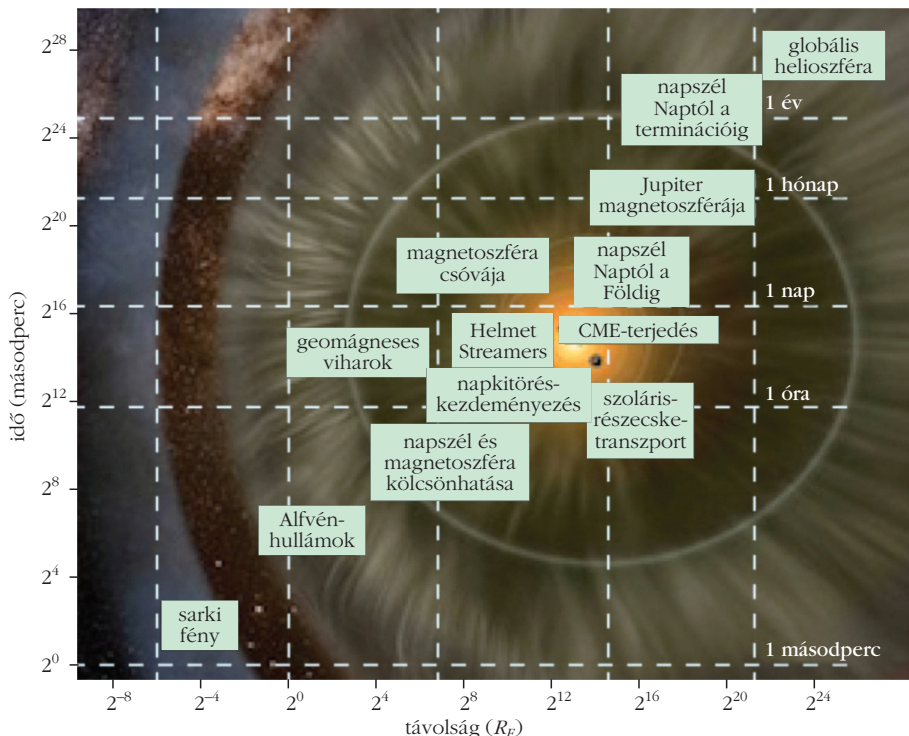
Elektromos terek

A mágneses vihar elektromos áramot gerjeszt az ionoszférában, az pedig másodlagos áramot indukál a földkéregben, amely a nagy elektromos hálózatokba, olajvezetékbe bejutva túlterhelést okozhat: a létrejövő erős egyenáram felhevíti a transzformátorokat és leégethet áramköröket. A legismertebb ilyen eset az 1989. március 13-i mágneses vihart követően egy transzformátor leégése és 9 millió embert érintő áramkimaradás volt Kanadában.

Extrém események

Az eddig ismert legnagyobb, a 2×10^{10} proton/cm² (>30 MeV) fluxust elérő Carrington-esemény gyakorisága a becslések szerint 100–500 évenként 1.

5. ábra. Az idő- (másodpercben) és távolságskálán (földsugárban, $R_E = 6378$ km) egyaránt 2^{28} -szoros felbontás szükséges, a leírt fizikai folyamatok kinetikustól a globális skáláig változnak.



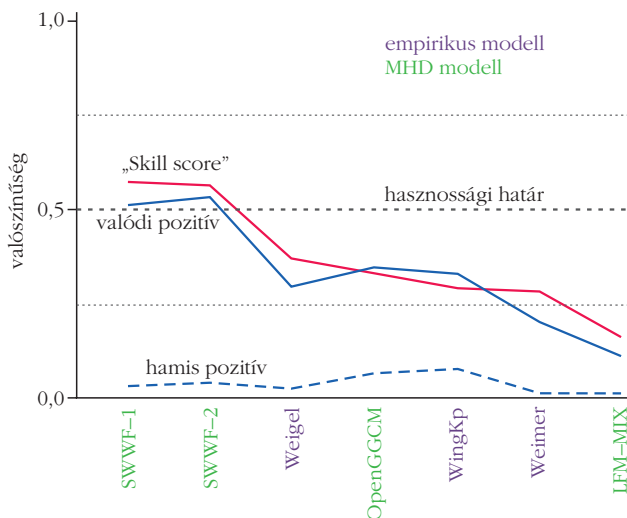
Előrejelzés

A CME-khez kapcsolódó események a CME megfigyelésével 1-2 nappal előre jelezhetők, a rövidebb, flarekhez kapcsolódó SEP eseményekben a protonoknál jóval kevésbé veszélyes és 1 órával előttük megjelenő relativisztikus elektronok figyelmeztetnek. A megfigyelt kezdeti paraméterekből az egyre fejlettebb számítógépes szimulációkkal kaphatunk előrejelzést.

Az űridőjárás modellezése

A plazma leírására több közelítés létezik. A magneto-hidrodinamika (MHD) a plazmát elektromos vezetőképesű folyadékként kezeli, és a plazma elektromágneses erők hatására bekövetkezett mozgását írja le. Mikroszkopikus szinten a kinetikus szimulációk az egyedi ionok és elektronok mozgását írják le a saját maguk által keltett elektromágneses térben. A hibrid szimulációk közbülső közelítésként az elektronokat folyadéknak tekintik, az ionokat pedig részecskének. A kinetikus szimulációk az MHD-nál nagyságrendekkel több számítógépes erőforrást igényelnek, így nagyméretű rendszerek modellezésére hibrid vagy MHD közelítést kell alkalmazni.

Az űridőjárás igen sokféle fizikai folyamat kölcsönhatásának eredménye, amelyek mind időben, mind térben sok nagyságrendet fognak át. Emiatt a numerikus szimulációkban legalább 2^{28} -szoros ($\sim 3 \times 10^8$) felbontású rács szükséges. Az egyes fizikai folyamatokat a kinetikus skálától a globális, MHD skáláig kell követnünk úgy, hogy ezek közül némelyiket még nem értünk minden részletében (5. ábra).

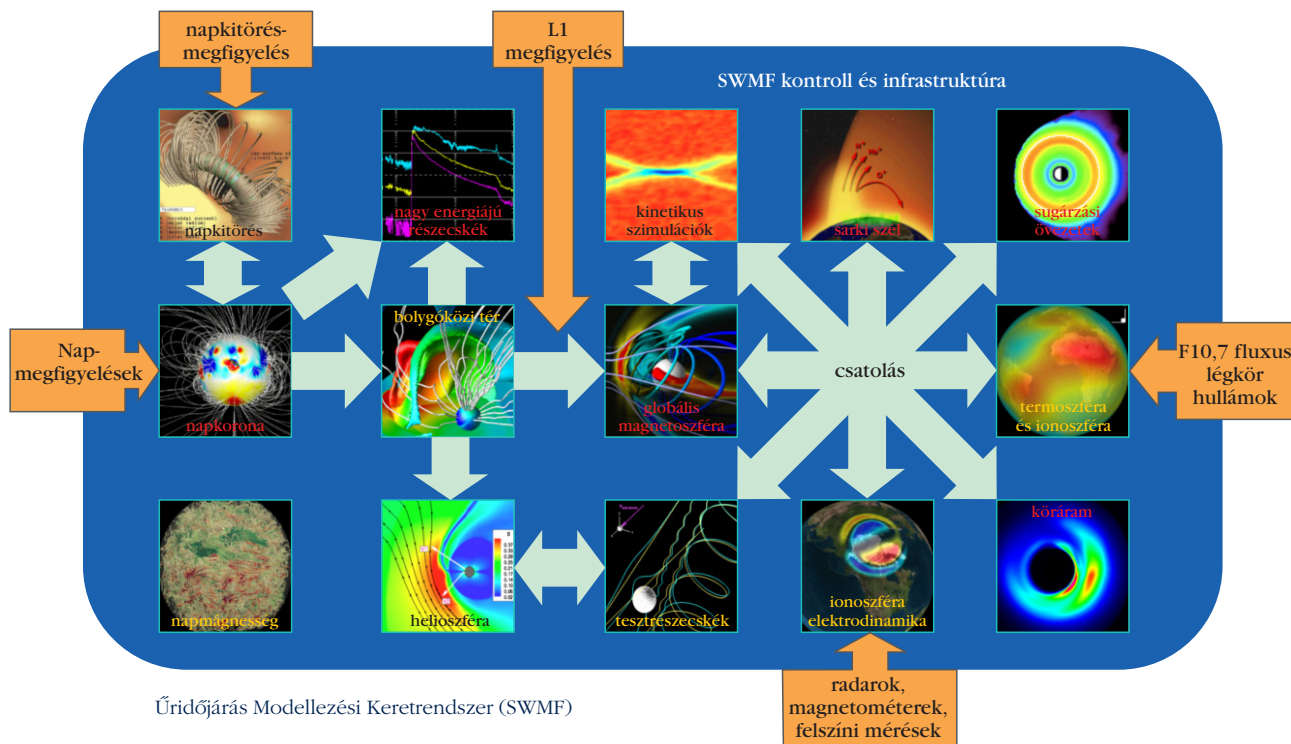


6. ábra. Egyes modellek eredményességének összehasonlítása.

Modellek versenye

Az űridőjárás számítógépes modellezésében hatalmas verseny folyik. Ennek célja az, hogy objektív rangsorolást érjen el az egyes űridőjárás modellek között, és segítsen kiválasztani azokat, amelyek érettek napi előrejelzés szolgáltatására. Az értékelés a mért és számított regionális, a földmágneses tér „háborgására” utaló Kp index és földfelszíni mágneses tér időbeli változásának összehasonlításával történik, mivel ezek a kulcsparaméterek az elektromos elosztóhálózat számára. A verseny zsűrijét a NASA/Goddard Űrközpont és NOAA/SWPC szakemberei al-

7. ábra. Az Űridőjárás Modellezési Keretrendszer moduljai.

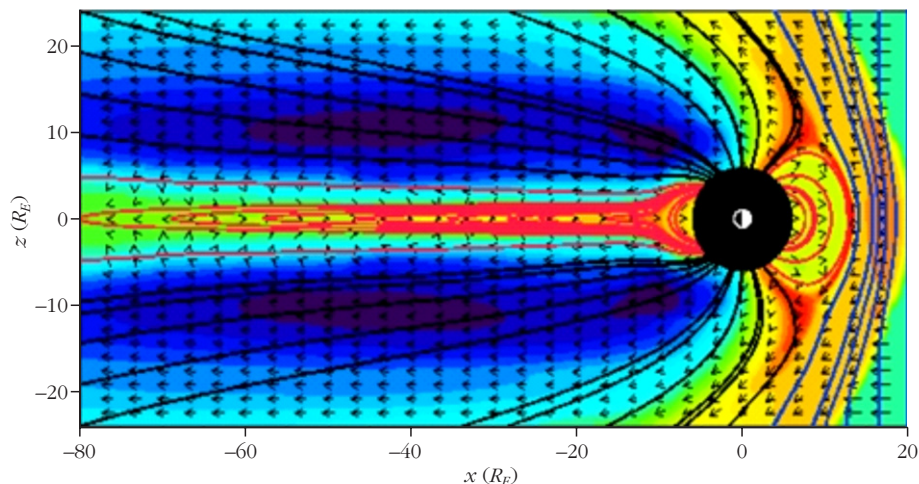


kotják. Hosszas tesztelesek után a michigani modellt választották az űridőjárás előrejelzésére (6. ábra).

Ennek alapján jelenleg a Michigan Egyetem kutatócsoportja világelsőnek számít. Ezt a Nemzeti Repülési és Űrhajózási Hivatal (NASA), a Nemzeti Tudományos Alap (NSF), az USA Védelmi Minisztériuma, az Energiaügyi Minisztérium és a NOAA negyed század alatti több mint ötvenmillió dollárnyi támogatása tette lehetővé. Együttesen több mint százötven emberév munkája, módszer- és szoftverfejlesztése fekszik benne.

Jelenleg is nemzetközi csoport dolgozik rajta két-két magyar, orosz és amerikai, illetve egy holland résztvevővel, a csoport összetétele – természetesen – közben sokszor változott.

A michigani csoportnak elsőként sikerült a kinetikus és az MHD módszert kombinálnia az űrkörnyezet leírására. Az Űridőjárás Modellezési Keretrendszer (Space Weather Modeling Framework, SWMF) 14 modulból áll: ezeket a 7. ábra mutatja a Nap mint forrás felől kiindulva. A keretrendszer legfontosabb része a BATS-R-US klasszikus, félig relativisztikus, több folyadékot leíró MHD kód, amelyben az ionok nyomása anizotrop [2–4]. Az egyenletek megoldásához alkalmazkodó rácsot használ. A kód szabadon hozzáférhető a <http://csem.engin.umich.edu> honlapon. A 8. ábra egy szimuláció eredményét mutatja a Föld plazmakörnyezetében.



8. ábra. A magnetoszféra BATS-R-US szimulációja az ekliptikára merőleges síkban (a távolságok földugár egységben).

Űridőjárás-kutatás Magyarországon

Az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpontja űrkutató csoportja űrszondákon (SOHO, STEREO, CLUSTER, Ulysses, Cassini, Rosetta) mért adatok, illetve a jövőben várható (Solar Orbiter, JUICE, BepiColombo) plazmamérések feldolgozását és elméleti értelmezését végzi. Vizsgálják a mágneses bolygók (Föld, Szaturnusz), nem-mágneses bolygók és holdak (Vénusz, Merkúr, Titan), illetve üstökösök plazmakörnyezetét. Az MTA Energia-tudományi Kutatóközpontjában összetett sugárzás- és dózismérő rendszereket fejlesztenek űrdozimetriai és űridőjárás céljal. Az ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszékén relativisztikus elektronok keletkezését és kicsapódását vizsgálják a plazmaszférában a modellezéshez az általuk létrehozott AWDANET globális mérőhálózat adatainak felhasználásával. A naptevékenység humánbiológiai hatásaival is foglalkoznak. Az MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Geodéziai és Geofizikai Intézetében a földi magnetoszférát, az ionoszférát és a mágneses pulzációkat tanulmányozzák.

Irodalom

1. D. J. Knipp et al.: The May 1967 Great Storm and Radio Disruption Event: Extreme Space Weather and Extraordinary Responses. *Space Weather* 14 (2016) 614–633.
2. Y. Chen, G. Tóth, T. I. Gombosi: A fifth-order finite difference scheme for hyperbolic equations on block-adaptive curvilinear grids. *J. Comp. Phys.* 305 (2016) 604–621.
3. L. K. S. Daldorff et al.: Two-way coupling of a global Hall magnetohydrodynamics model with a local implicit particle-in-cell model. *J. Comp. Phys.* 268 (2014) 236–254.
4. G. Tóth et al.: Extended magnetohydrodynamics with embedded particle-in-cell simulation of Ganymede's magnetosphere. *J. Geophys. Res.* 121 (2016) 1273–1293.
5. Y. Hada-Muranushi et al.: A deep-learning approach for operation of an automated realtime flare forecast. arXiv:1606.01587 (2016)

A jövő

Yogi Berra amerikai baseballjátékos elhíresült mondanak szerint „jóslni nehéz, különösen a jövőt”. De milyen lesz az űridőjárás előrejelzése 10 év múlva? A legfontosabb előrelépés a várakozás szerint a flerek előrejelzésében várható. A „deep learning” segítségével egyrészt az eddigieknél sokkal nagyobb mennyiségű adat (például képek) használható fel inputként a tanulási algoritmusokhoz, másrészt ezek online használhatók, a folyamatosan érkező újabb adatokat is beépítve [5].

Elméleti téren a mágneses erővonalak összekapcsolódási mechanizmusának jobb megértése remélhető. A cél egyelőre elérni a földi időjárás-előrejelzés „pontosságát”.

Szerkesztőség: 1092 Budapest, Ráday utca 18. földszint III., Eötvös Loránd Fizikai Társulat. Telefon/fax: (1) 201-8682

A Társulat Internet honlapja <http://www.elft.hu>, e-postacím: elft@elft.hu

Kiadja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, felelős kiadó Groma István főtítár, felelős szerkesztő Lendvai János főszerkesztő.

Kéziratokat nem őrzünk meg és nem küldünk vissza. A szerzőknek tiszteletpéldányt küldünk.

Nyomdai előkészítés: Kármán Stúdió, nyomdai munkálatok: OOK-PRESS Kft., felelős vezető: Szathmáry Attila ügyvezető igazgató.

Terjeszti az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, előfizethető a Társulatnál vagy postautalványon a 10200830-32310274-00000000 számú egyszámlán.

Megjelenik havonta (nyáron duplaszámmal), egyes szám ára: 900.- Ft (duplaszáma 1800.- Ft) + postaköltség.

HU ISSN 0015–3257 (nyomtatott) és HU ISSN 1588–0540 (online)

NAGYENTRÓPIÁS ÖTVÖZET-VÉKONYRÉTEGEK SZERKEZETE

Radnóczy György,¹ Bert Braeckman,² Diederik Depla,² Misják Fanni¹

¹MTA Energiakutató Központ, Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézet

²Department of Solid State Sciences, Ghent University, Belgium

A kutatás és az ipar is új szerkezeti anyagok iránt érdeklődik, amelyek főleg az energiaipar és a közlekedés területén (beleértve a repülés- és űrtechnikát) terjeszthetik ki az alkalmazások körét. Ezen alkalmazások magas szilárdsági mutatók mellett egyidejűleg igénylik a magas hőmérsékleti alkalmazás lehetőségét és a kis fajsúlyú (könnyű) szerkezeti anyagokat. Az ilyen alkalmazásokban jelenleg elterjedten használt fém alapú ötvözetanyagok (Al-, Ti- vagy Ni-alapú ötvözetek) mind egy vagy két főkomponenssel rendelkeznek, ami jelentősen lecsökkenti a szóba jövő ötvözet típusok számát, ezzel is korlátot állítva a fejlesztések és tulajdonságkombinációk sokszínűsége elé.

Az újdonságnak számító, nagy entrópiával jellemezhető (High Entropy Alloys, HEA) ötvözetanyagok [1, 2] minimum öt összetevőből állnak, amelyek mennyisége az ötvözetben 5–35 at% között van. Az anyagra jellemző nagy keveredési entrópia biztosítja a rendszer stabilitását és viszonylag egyszerű kristályszerkezeteket is eredményez. A HEA-anyagok kutatásának legfontosabb motivációja, hogy ezek olyan, összetételükben komplex ötvözetek, amelyek korábban nem kerültek a kutatások látókörébe. Ebben benne foglaltatik a lehetséges ötvözetek óriási száma, ami sok újdonságot ígér mind a tudományos kutatások, mind a gyakorlati alkalmazások számára. Több fő

komponens alkalmazása esetén azonban hiányzik a kellő háttértudás: például gyakran nem áll rendelkezésre megfelelő fázisdiagram, és a kialakuló, sokszor a nanométeres méretskálán is bonyolult szerkezeteket sem könnyű értelmezni. Kérdéseket vet fel a rétegek szerkezeti és tulajdonságbeli stabilitása is.

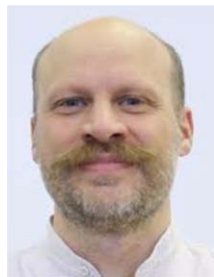
A tömbi HEA-ötvözetek fontosabb jellemzői közül említésre méltó a kiváló szilárdsági mutatók megőrzése az olvadáspont 60%-ig, egyes esetekben akár 1000 °C-ig. Jellemző a jó deformálhatóság és törési szilárdság (szobahőmérsékleten), a környezeti hatásokkal – különösen a korrózióval (oxidációval) – szembeni ellenálló képesség, a hosszú távú szerkezeti stabilitás és ezzel együtt a tartós ellenállás a kúszási és fáradási igénybevételek esetében. Az egyfázisú szerkezetek külön előnye, hogy nem kell bonyolult technológiai folyamatokkal beállítani a tulajdonságokat hordozó, bonyolultabb többfázisú szerkezeteket, és ez a technológiák költségeiben is előnyösen mutatkozhat. Ugyanakkor a szilárd oldatok jelenlétéből eredő keménységnövekedés akár tízszerese is lehet a kétfázisú ötvözetekben tapasztaltnak.

A HEA-ötvözetek vékonyrétegformában is ígéretesek. Kiemelkedő mechanikai tulajdonságaik és korrózióállóságuk révén kemény és kopásálló bevonatok formájában alkalmazhatók. Ezen túlmenően a HEA-szerkezetekben a diffúziós mozgékonyság erősen korlátozott, így akár diffúziós barrierként is szóba jöhetnek.

Az írás az Eötvös Loránd Fizikai Társulat szegedi Vándorgyűlésén elhangzott előadás kibővített, frissített változata.



Radnóczy György (1946) mérnök-fizikus, az MTA doktora, professzor emeritus, 1971 óta az MTA Energiakutató Központjának és jogelődjeinek munkatársa. Tudományterülete a vékonyrétegek és más nanoszerkezetek kialakulása és növekedési mechanizmusának vizsgálata, a szerkezet és fizikai tulajdonságok közötti kapcsolatok feltárása. Fő vizsgálati módszere a transzmissziós elektronmikroszkópia.



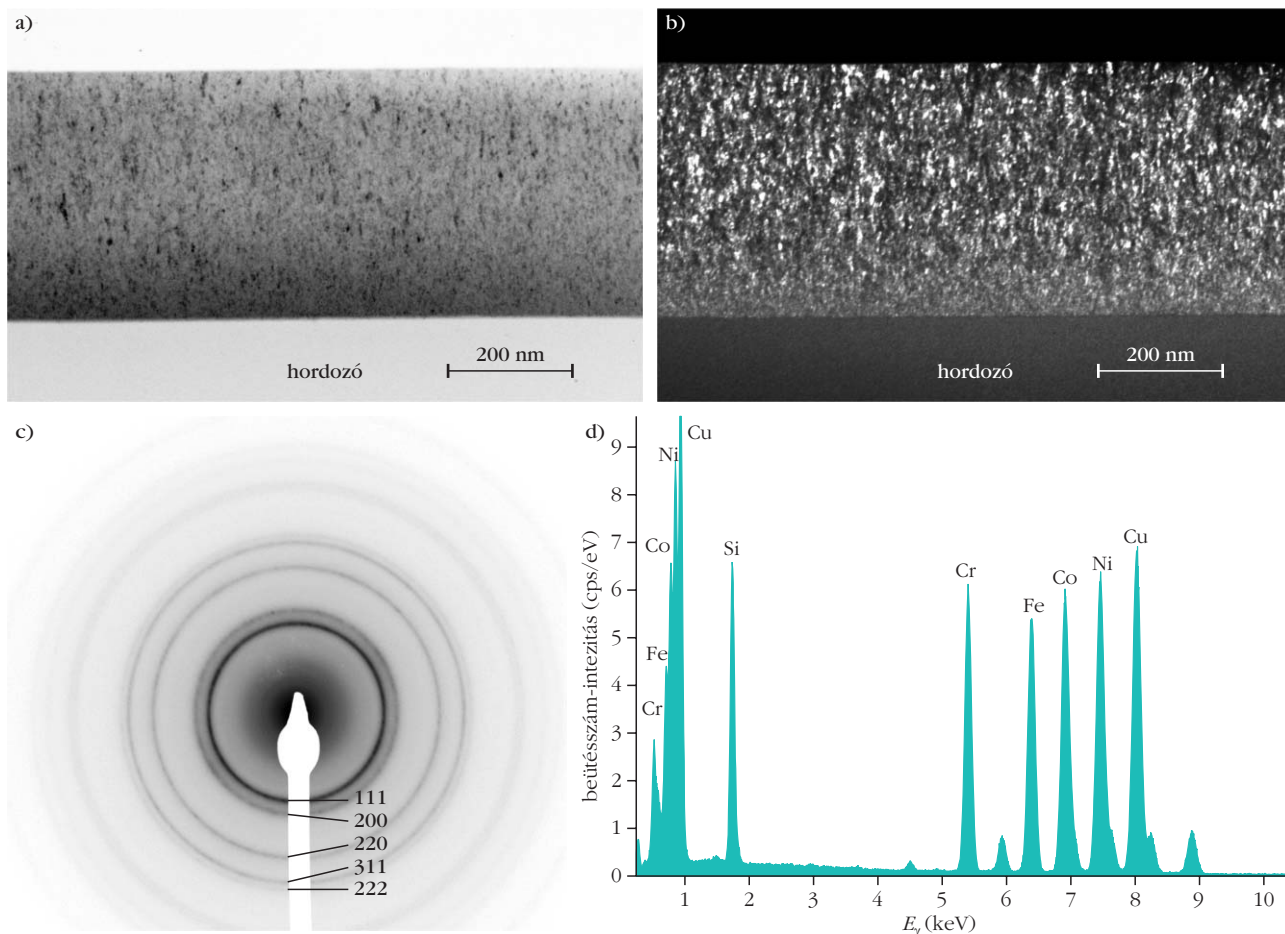
Diederik Depla, a Ghenti Egyetem Szilárdtest Tudományok Részlegének professzora és irányítója a reaktív magnetronporlasztással növesztett vékonyrétegek kutatásának. Az általa vezetett kutatócsoport, a „Progresszív rétegek és targetek dedikált kutatása” vezető szerepet játszik a reaktív magnetronporlasztás alapvető jelenségeinek értelmezésében. További részletek találhatóak a www.draft.ugent.be internet-oldalon.



A Ghenti Egyetem Mérnök-Fizikai karán MSc diplomát szerzett *Bert Braeckman* a magnetronporlasztással növesztett komplex ötvözet vékonyrétegek növekedését tanulmányozta a DRAFT (Ghenti Egyetem Szilárdtest Tudományok Részlege) kutatócsoportban. Itt 2016-ban PhD fokozatot szerzett. Jelenleg alkalmazott fizikai fejlesztő mérnökként egy belgiumi vállalat munkatársa.



Misják Fanni fizikusként szerzett MSc-diplomát az Eötvös Loránd Tudományegyetemen, majd 2010-ben az ELTE Fizika Doktori Iskolájában PhD-fokozatot kapott. Jelenleg az MTA Energiatudományi Kutatóközpont tudományos munkatársa. Fő kutatási területe az ötvözet vékonyrétegek kialakulási mechanizmusainak vizsgálata az elektronmikroszkópia módszerével.



1. ábra. A CoCrFeNiCu nagyentrópiás ötvözetréteg világos látóterű képe a), sötét látóterű képe b), elektrondiffrakciója c) és EDS-spektruma d).

Kísérleti feltételek

Az öt-, illetve hatkomponensű $Nb_x-(CoCrFeNiCu)$, $x = 0-25$ at% rétegeket a genti egyetem (Belgium) munkatársaival együttműködésben, egyenáramú magnetronporlasztással állítottuk elő $\sim 5 \times 10^{-6}$ mbar nyomású háttérvákuumban. Forrásként fémporok keverékéből préselt targeteket használtunk. Porlasztógázként Ar-t alkalmaztunk úgy, hogy a vákuumkamrában nagy tisztaságú Ar beengedésével 2×10^{-3} mbar-ra emeltük a nyomást. Ebben a nyomástartományban a forrásra kapcsolt mintegy -500 V feszültség hatására beindul a gázkisülés, és a keletkező Ar^+ ionok becsapódnak a forrásként használt céltárgy (target) felületébe, onnan fématomokat és ionokat lökve ki (porlasztva). Ezek a kiporlasztott atomok a vákuumtérben az Ar-atomokkal és maradékgáz-molekulákkal (főleg O_2 és N_2) való többszöri ütközés után kondenzálódnak a hordozónak használt oxidált Si-szelet felületén. A hordozót szobahőmérsékleten tartottuk a növesztés során és $0,5-1 \mu m$ vastag rétegeket növesztettünk.

A rétegeket transzmissziós elektronmikroszkópiával (TEM) vizsgáltuk. Ehhez a mintákból vékony, maximum 100 nm vastagságú metszeteket készítettünk úgy, hogy a metszet síkja merőleges volt a réteg síkjára. A szerkezeti jellemzésre többféle a transzmisz-

ziós elektronmikroszkópokkal elérhető leképezési módszert használtunk, mint például diffrakciós kontrasztot (CM20 elektronmikroszkóp, 200 kV), nagy feloldást és fáziskontrasztot (JEOL 3010 300 kV és JEOL ARM 200 kV). Elemi összetételanalízist végeztünk energiadiszperzív röntgenspektroszkópia (EDS) és fázisanalízist elektrondiffrakció módszerével is.

Eredmények

Elsőként ötkomponensű, szobahőmérsékleten növesztett CoCrFeNiCu-rétegeket vizsgáltunk (1. ábra). A réteg alján, az alsó 50 nm vastagságában egy nanoszemcsés szerkezet jön létre, és a szemcseméret a réteg vastagságával növekedik amint ez a sötét (1.a ábra) és a világos kontrasztot adó szemcsék (1.b ábra) méretéből látszik. Megállapítható, hogy a szemcseméret nem haladja meg a 10 nm-t. A diffrakciós kép egyetlen, egy lapcentrált köbös (FCC) ráccsal rendelkező fázist mutat (1.c ábra), amelynek rácsparamétere $0,356 \pm 0,005$ nm [3]. Az EDS-analízis (1.d ábra) szerint a minta összetétele megfelel a nagyentrópiás ötvözetek feltételeinek, minden komponens jelentős mennyiségben (1. táblázat) van jelen a mintában.

Azon eredményt, hogy a sok komponensű HEA-ötvözet egy fázisban kristályosodik érdemes tovább-

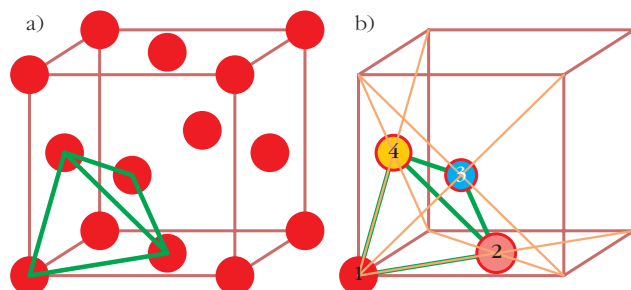
1. táblázat A CoCrFeNiCu nagyentrópiás ötvözetréteg összetétele az EDS mérés alapján					
jele	rendszáma	röntgenvonal	koncentráció		koncentrációhiba (1 σ) (tömeg%)
			(tömeg%)	(atom%)	
Cr	24	K-sorozat	14,69	16,51	0,47
Fe	26	K-sorozat	16,04	16,78	0,51
Co	27	K-sorozat	19,14	18,97	0,60
Ni	28	K-sorozat	21,89	21,79	0,69
Cu	29	K-sorozat	28,24	25,96	0,88

gondolni. Egy fázison belül a kristályrács elemi celláinak (eltekintve a kristályhibák környezetétől) azonosnak kell lenniük. A Nb-ot nem tartalmazó HEA-mintában öt komponens atomja található egy egységes FCC-rácsban elrendezve, amelynek elemi cellája négy atomot tartalmaz. Azaz ötféle atom biztosan nem lesz egyetlen elemi cellában sem. Azt sem lehet kizárni, hogy egy-egy elemi cellában csak kettő- vagy háromféle atom lesz az ötből. Tehát az elemi cellák nem lesznek egyformák.

Az FCC-rács elemi cellája a 2.a ábrán látható. Az elemi cellához tartozó négy (egyforma) atomot egy tetraéder négy sarkában képzelhetjük el, a többi atom már a szomszédos cellákhoz tartozik. Ha ugyanezt a tetraédert az ötvözetünkre ábrázoljuk, akkor a 2.b ábrát kapjuk, és láthatjuk, hogy a rendszerben lévő öt különböző atom nem fér egy cellába. Öt atomból, a sorrendet is figyelembe, véve 625 különböző elemi cella rakható ki (hat atom esetében 1296). Képzeljünk el egy olyan szerkezetet, amelyikben mindegyik elemi cella más és más, azaz 625 (1296) cellából áll. Egy ilyen szemcsé (kocka) mérete $625^{1/3}$ ($1296^{1/3}$) azaz ~8,6 (~10,5) cella, körülbelül 3 nm (4 nm). Ehhez képest a rétegünket (1. ábra) 10 nm átmérőjű, oszlop alakú szemcsék alkotják, amelyek hossza a keresztmetszet 1–4-szerese. Ha elméletben létre tudunk hozni egy 3–4 nm-es szemcsét, amelyikben mindegyik elemi cella különböző, akkor belátható, hogy a valós (10 nm-es) szemcsék szerkezete makroszkopikus skálán statisztikusan homogén lesz, kristályos fázisként fog viselkedni.

Miután az atomi szerkezet jellegét megállapítottuk, próbáljuk megérteni a réteg morfológiájának kialakulását.

2. ábra. FCC elemi cella a) egyatomos szerkezetben és b) többkomponensű rendszerben.



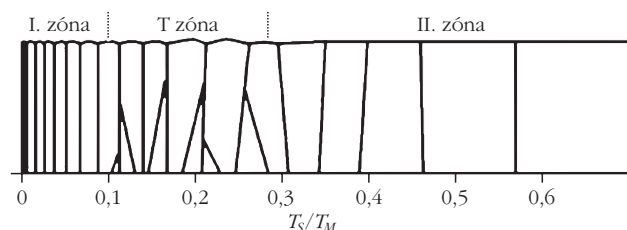
lását. Az egyfázisú, polikristályos rétegek növekedésének egyik legfontosabb alapelve, hogy – amíg a réteg növekedését biztosító fluxus fennáll – csak a hordozón keletkezett kristályok tudnak növekedni. Ezen kristályok a növekedés során egymás rovására laterálisan kiszélesedhetnek, egymást kiszoríthatják, így a réteg keresztmetszetében a kristályok száma csökkenhet, de új, nem a hordozóról induló kristály már nem keletkezhet [5]. Ezt az elvet a vékonyrétegek növekedési morfológiáit összefoglaló szerkezeti zónadiagramokban – amelyek keresztmetszetben mutatják a szemcsék alakját – szokták bemutatni (3. ábra).

Az olvadáspontonra normált növesztési hőmérséklet függvényében három különböző növekedési morfológia jelenik meg, az ezeknek megfelelő hőmérséklet-tartományokat zónáknak nevezzük. Mindhárom zónában a réteget alkotó összes kristályszemcsé a hordozóról indulva növekedik.

Az általunk vizsgált a HEA-ötvözet esetében az olvadáspontonra normált növesztési hőmérséklet 0,1 körüli, tehát az I. és a T zóna határán növekedő szerkezetet, azaz a hordozótól a réteg tetejéig nyúló, oszlop alakú kristályokat kellett volna kapnunk (3. ábra). Az 1. ábra tanúsága szerint viszont szerkezetünk ennek nem felel meg. A kristályok növekedése abba marad, a felületükön új kristályok képződnek és növekednek, majd ezek növekedése is megszakad, és a folyamat megismétlődik. Ezt a jelenséget ismétlődő magképződésnek nevezzük [5].

Korábbi egy- és kétkomponensű rendszereken végzett vizsgálataink azt mutatták, hogy az ismétlődő magképződés megjelenésének feltétele, hogy a növekedési felületet egy idegen fázis rétege lezárja, amely akár nagyon vékony, egy atomnyi vastag is lehet. E záróréteg tetején új kristályok tudnak képződni és növekedni, míg ezek növekedése is meg nem áll egy újabb záróréteg kialakulása miatt. Mi képezheti a záróréteget a HEA-ötvözet rétegekben? E vizsgálatok még tartanak, de tudva, hogy az oxigén és nitrogén parciális nyomása a növekedés során 10^{-6} mbar tartományban van, feltételezhetjük, hogy a záróréteg oxid, hiszen az oxigénnel nagy affinitást mutató fémek – azaz az összes komponens – oxid záróréteget képezhetnek. A 10^{-6} mbar parciálisnyo-

3. ábra. A vékonyréteg-növekedés szerkezeti zónadiagramja, amely a réteg keresztmetszetében mutatja a szemcsék alakját a T_M olvadáspontonra normált T_S növesztési hőmérséklet függvényében [5].



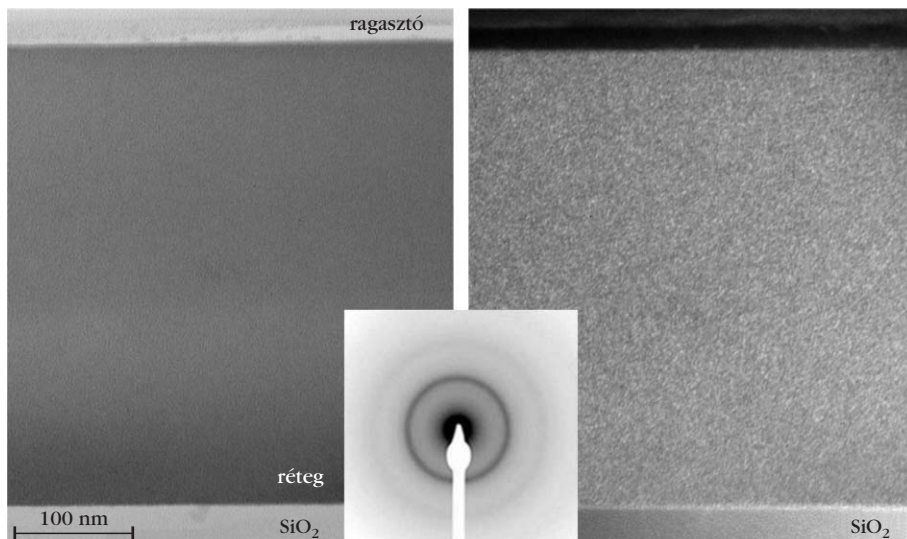
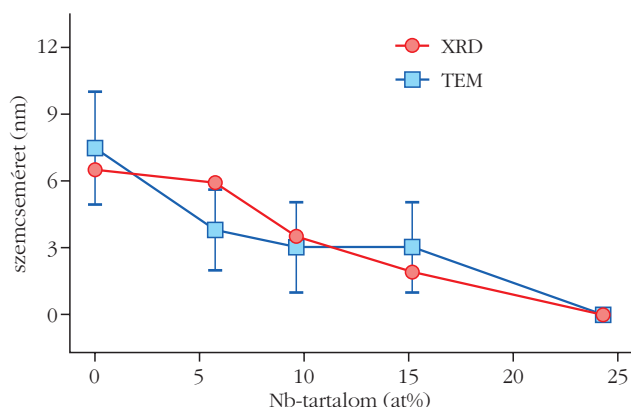
más-tartományban a felületre érkező O_2 -molekulák mennyisége ~ 1 atomréteg/s. Ez lényegében megegyezik a beérkező fématomok fluxusával [3], így az oxidképződés lehetősége adott. Korábbi tapasztalatok (például Cu esetében [6]) és ezen megfontolások alapján elfogadjuk, hogy rétegeink növekedése oxid zárórteg kialakulásával, ismétlődő magképződéssel megy végbe.

A továbbiakban a Nb-adalékolás rétegek szerkezetére gyakorolt hatását vizsgáltuk. A Nb-koncentráció növekedésével a szemcseméret csökken, és 15 at% Nb-tartalom fölött a rétegek szerkezete pedig amorf lesz. Egy amorf szerkezetű (24 at% Nb-tartalmú) réteg elektronmikroszkópos és diffrakciós képe a 4. ábrán látható.

A 0–15 at% Nb-tartományban a kristályméret a Nb-tartalom növekedésével csökken. Mivel a kis kristályok gyakorlatilag hibamentesek, a röntgendiffrakcióból számolt kristályméretek lényegében megegyeznek a mikroszkópos vizsgálatok eredményével (5. ábra) [4].

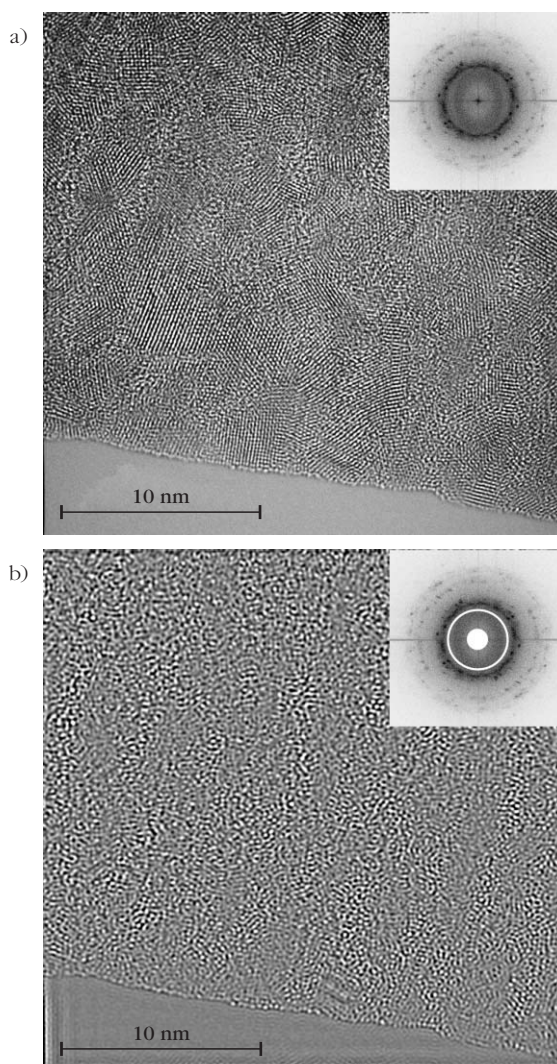
A 6. ábrán az 5% Nb-tartalmú réteg nagy feloldású elektronmikroszkópos képe látható. A 6.a ábrán az egyes szemcsékben megjelenik a kristályrács, ezáltal a kristályos szemcsék között lévő amorf fázis jól megkülönböztethető. Így ez a szerkezet nem egyfázisú, a kristályokat amorf réteg választja el egymástól. A kép pontfelbontása 0,1 nm körül van. A minta szélénél megjelenő világos pontok egy-egy atom, illetve az elektronsugárral párhuzamos atomoszlop képei. A kristályok között az amorf tartomány szélessége 1 nm körüli. A Nb-tartalommal csökkenő kristályméret mellett az amorf fázis mennyisége növekedik.

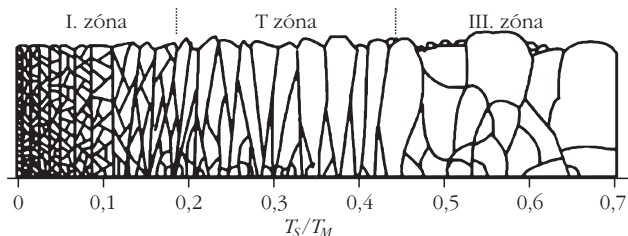
5. ábra. A kristályméret változása a Nb-tartalom függvényében. Az amorf szerkezetben a kristályméretet nullának tekintettük. A mérési pontok röntgendiffrakciós (XRD) és elektronmikroszkópos (TEM) mérésekből származnak.



4. ábra. A 24 at% Nb-tartalmú réteg amorf szerkezetű. A diffrakció belső gyűrűjével készült sötét látóterű képben nincsenek világos szemcsék, azaz kristályok.

6. ábra. Az 5,4 at% Nb-tartalmú minta keresztmetszeti nagy feloldású TEM-képe. Jól láthatók a ~ 5 nm méretű kristályok és a közöttük lévő amorf mátrix (a). A (b) Fourier-szűrt képben csak az amorf mátrix látható [4].





7. ábra. A szerkezetizóna-diagram módosulása a felületi zárórtegek kialakulása esetén. A morfológia változása mellett módosulhatnak az egyes zónák hőmérséklet-tartományai is [5].

A 6.b ábrán csak – a háttérnél kicsit világosabb kontraszttal – az amorf mátrix szerkezete látható. A kristályok volt helye a háttérrel azonos kontrasztot ad. A 6.b ábrát úgy állítottuk elő, hogy a 6.a ábrán mutatott a kép Fourier-transzformáltjából (diffrakciós képből) kiszűrjük a kristályos reflexiókat (Fourier-szűrés). A visszatranszformációban csak a diffrakcióban jelölt központi fehér korong és a fehér gyűrű közötti, az amorf szerkezetnek megfelelő reflexiók (6.b ábra) vettek részt.

Kísérletet tettünk az amorf mátrix és a kristályos szemcsék közötti összetételbeli különbségek meghatározására, de a mérés ilyen különbséget nem mutatott ki. Így egyelőre abban tudunk gondolkodni, hogy a Nb megjelenésével a rácsban a mechanikai feszültségek növekednek, és egy meghatározott mértéknél a szerkezet amorfra vált. E folyamatban a jelen lévő oxigén hatása sem zárható ki. Tehát a Nb-mal adalékolt rétegben kimutatható az amorf záró réteg kialakulása a növekedő kristályok felületén, és az ezen végbemenő ismétlődő magképződés és növekedés. A szerkezetizóna-diagram az adalék Nb (és a szennyező oxigén) hatására módosul [5], és a 7. ábrán

látható szerkezetek kialakulását jósolja. A 7. ábra jelzi a zónahatárok módosulásának lehetőségét a beépülő szennyezők vagy adalékok hatására. Az általunk vizsgált HEA-ötvözet vékonyrétegek morfológiáját továbbra is a $0,1 T_s/T_M$ normált hőmérséklet közelében olvashatjuk le. A szerkezet (6. ábra) egy amorf mátrixból és kristályos szemcsékből álló nanokompozitnak tekinthető.

A szerkezetkialakulás a Nb_x -CoCrCuFeNi vékonyrétegekben méretbeli és/vagy kémiai paraméterek változásával magyarázható. A Nb_x (CoCrCuFeNi) rendszerben a mérethatás van túlsúlyban. A Nb-atomok mérete a többi komponensnél nagyobb, így az x Nb-koncentráció növekedésével folyamatosan nő a rácsdeformációk mértéke [2]. Kis Nb-koncentrációnál az FCC-szerkezet metastabil, de kinetikailag a komponensek nem tudnak szétválni. 15 at% Nb-tartalom fölött a rendszer a szintén metastabil amorf fázisba vált, amelyben a belső deformációkat könnyebben tolerálja. Az átmeneti összetétel-tartományban egy kétfázisú, nanokompozit-szerkezet és -morfológia alakul ki, amelynek tipikus mérete 1–5 nm.

Irodalom

1. B. Cantor: Multicomponent and High Entropy Alloys. *Entropy* 16 (2014) 4749–4768.
2. T. Egami, Y. Waseda, *J. Non-Cryst. Solids* 64 (1984) 113.
3. B. R. Braeckman, F. Misják, G. Radnóczy, D. Depla: The influence of Ge and In addition on the phase formation of CoCrCuFeNi high-entropy alloy thin films. *Thin Solid Films* 616 (2016) 703–710.
4. B. R. Braeckman, F. Misják, G. Radnóczy, M. Čaplovičová, Ph. Djemia, F. Tétard, L. Belliard, D. Depla, *Scripta Materialia* 139 (2017) 155–158.
5. P. B. Barna, M. Adamik, *Thin Solid Films* 317 (1998) 27.
6. F. Misják, P. B. Barna, A. L. Tóth, T. Ujvári, I. Bertóti, G. Radnóczy, *Thin Solid Films* 516 (2008) 3931–3934.

NEM KELL HŐSNEK LENNED!

**MARADJ TOVÁBBRA IS
A FIZIKA BARÁTJA!**

SZÁMÍTUNK RÁD,



támogasd jövedelemadód

EGY százalékaival

az Eötvös Loránd Fizikai Társulatot!

Adószámunk: 19815644-2-43



A VÍZFELSZÍN BREWSTER-FÉLE SÖTÉT FOLTJÁNAK POLARIZÁCIÓ-OPTIKÁJA

2. rész: fényképezés és festmények

Horváth Gábor, Takács Péter – ELTE, Biológiai Fizika Tanszék, Környezetoptika Laboratórium

Barta András – Estrato Kutató és Fejlesztő Kft.

David Pye – Londoni Egyetem, Nagy-Britannia

Felbőlten ég alatt napkelte vagy napnyugta közelében arccal észak vagy dél felé fordulva a függőlegestől 53° -ra nézd a víztükröt és megláthatod. Már korábban is többször észlelhetted, csak nem voltál vele tisztában, mit látsz. E cikkből megismerheted a gyakori, de csak kevesek által ismert Brewster-féle sötét folt optikáját.

A Brewster-féle sötét folt polárszűrő nélkül készült fényképei

A 9. ábrán látható a híres Tádzs Mahal („A paloták koronája”) központi épülete és az előtte terülő mesterséges tó, miközben a fényképész északra nézett naplementekor. A vízfelszín megfigyelőhöz közelebbi része nem veri vissza a függőlegesen poláros világoskék égfényt, míg a polarizálatlan épület nagy fényerővel tükröződik. Pont a polarizálatlan vagy csak gyengén poláros kupola és minaretek erős visszaverődése a függőlegesen poláros égfényhez képest bizonyítja, hogy e kép nem polárszűrővel készült, hiszen egy függőleges polár-



9. ábra. Az indiai Agrában lévő Tádzs Mahal mauzóleum és az előtte elterülő tó polárszűrő nélkül, naplementekor készült fényképe, amikor a vízszintes optikai tengelyű kamera északra néz. A vízfelszín megfigyelőhöz közelebbi része nem veri vissza a kék eget a Brewster-féle sötét foltban, míg az épület tükröképe tisztán látható, ami bizonyítja, hogy a kamera előtt nem volt polárszűrő. A fénykép az Abercrombie & Kent utazási ügynökség 1995-ös reklámkiadványából származik.

szűrő kiszűrte volna az összes, vízszintesen poláros vízfelszíni tükröződést.



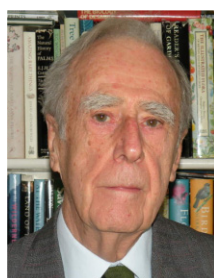
Horváth Gábor fizikus, az MTA doktora, az ELTE Biológiai Fizika Tanszék Környezetoptika Laboratóriumának vezetője. A vizuális környezet optikai sajátosságait és az állatok látását tanulmányozza, továbbá biomechanikai kutatásokat folytat. Számos szakmai díj és kitüntetés tulajdonosa. Évtizedek óta aktív tudományos-ismeretterjesztő munkát is folytat előadások és cikkek formájában.



Barta András az ELTE-n végzett fizikusként, majd ugyanott szerzett PhD-fokozatot biofizikából a Biológiai Fizika Tanszék Környezetoptika Laboratóriumában. A bio- és környezetoptikával kapcsolatos alap kutatásokon kívül ipari műszerek, elsősorban minőségellenőrző eszközök fejlesztésével foglalkozik az Estrato Kutató és Fejlesztő Kft. vezetőjeként. Számos kutatásfejlesztési pályázat előkészítésében és megvalósításában vett és vesz részt.



Takács Péter a középiskolát a Debreceni Egyetem Kossuth Lajos Gyakorló Gimnáziumában végezte. BSc szakdolgozatát az ELTE-n írta a vikingek égbolt-polarizációs navigációjáról. Az ELTE végzős mesterszakos fizikus hallgatójaként diplomamunkáját a Biológiai Fizika Tanszék Környezetoptika Laboratóriumában készíti, ahol több kutatásban is részt vesz.



David Pye a Londoni Egyetem zoológus emeritus professzora. Fő érdeklődési területe az állatvilágban fellelhető fizikai elvek vizsgálata. Tanulmányozta az állatok ultrahangos kommunikációját, különös tekintettel a denevérek visszhangos tájékozódására és zsákmányszerzésére, majd az elektromágneses spektrum közeli ultraibolya-tartománya és a poláros fény állatvilágban játszott szerepét kutatta. A Zoological Society, Linnean Society, Institute of Physics és a Royal Institution tagja.



10. ábra. A dél-svédországi Havnmantorp és Lessibo közelében lévő Hyllsjon-tóról polárszűrő nélkül készült fénykép. A vízszintes optikai tengelyű kamera északra nézett. A fényképet David Pye készítette 2011. június 4-én kora reggel.

A 10. ábra fényképe is polárszűrő nélkül készült: egy tavat mutat, amikor a kamera északra nézett napkeltekor, tiszta égbolt alatt. A Brewster-féle sötét folt (BSF) tisztán látszik a kép alján. A barna sziklák a víz

11. ábra. Az ég és öt különböző tóról vízszintes polárszűrővel a), c), e), g), i) és anélkül b), d), f), h), j) 180° látószögű halveszemoptikával Gödön (47° 70' É, 19° 15' K) 2017. július 15-én 20:30-kor (=UT + 2 óra) készített fényképek, amikor a kamera vízszintes optikai tengelye nyugat a)–d), dél e)–h) és észak i)–j) felé nézett. A b) és d) fényképeken a Brewster-féle sötét folt nem látható, míg az f), h), j) fényképeken jól látszik a vízfelszínen.



alján jól kivehetők, mivel a róluk eredő fényt nem nyomja el a vízfelszínről a Brewster-féle sötét foltban nem tükröződő függőlegesen poláros égboltfény.

A 11. ábra több, 180° látószögű fényképet mutat, amelyek egy részét vízszintes polárszűrővel exponáltuk, másik részét pedig polárszűrő nélkül. E képek napnyugtakor készültek, amikor a kamera vízszintes tengelye nyugat, dél és észak felé nézett. A 11.b és 11.d ábrákon nem látható a BSF, mivel a kamera nyugat felé nézett. A 11.f, 11.h és 11.j ábrákon a BSF jól kivehető a vízfelszínen. A 11.a és 11.c képeken az ég a szoláris meridián mentén fényes, mivel az égfény ott vízszintesen polarizált, ami akadály nélkül áthaladt a kamera előtti vízszintes polárszűrőn. A 11.e, 11.g és 11.i ábrákon azonban a szoláris meridiánra merőleges síkú meridián mentén sötét az ég, mert annak függőlegesen részlegesen poláros fényét jelentősen elnyelte a vízszintes polárszűrő. A 11.f ábrán a tóparti fa tükörképe – a gyenge polarizációjának köszönhetően – zöld maradt, míg az ég – erősebb függőleges polarizációja miatt – a fa mögött sötétkék. A 11.f ábra tóparti fájának körülményei hasonlóak a 9. ábrán látható Tádzs Mahaléihoz. A 11.e, 11.g és 11.i ábrák jól szemléltetik az ég függőleges polarizációját, amikor a megfigyelő dél vagy észak felé néz, aminek következményeként a vízfelszínen látható a BSF.

Festmény Brewster-féle sötét folttal

A 12. ábrán Edouard Vuillard A révész című festményét láthatjuk (1897, D'Orsay Múzeum, Párizs) [14]. A festményen ábrázolt tájat a bal oldalt lenyugvó vagy felkelő nap sárgás fénye világítja meg,



így a festő (a kép szemléltője) északra vagy délre tekint és látja az eget meg annak vízfelszíni tükörképét. A világoskék ég majdnem teljesen tiszta, és a vízfelszínre függőlegesen poláros fény esik. Ezért alakul ki a Brewster-féle sötétkék folt a vízfelszínen, a festmény közepén és főleg a jobb alsó sarkában. A sárguló lombú fákról származó fény gyakorlatilag polarizálatlan, ezért a vízfelszínről még a Brewster-szög közelében is legalább a fele (a vízszintesen poláros összetevője) visszaverődik, ellentétben a függőlegesen poláros égfénnyel. E festmény minden részlete kielégíti a BSF kialakulásához szükséges feltételeket. Különösen fontos, hogy a sárga fák fényesen tükröződnek a vízfelszínről, míg a világoskék ég tükörképe sötétkék körülöttük.



12. ábra. Edouard Vuillard (1897): *A révész* (D'Orsay Múzeum, Párizs) [14]. A kép középső és jobb alsó részén látható sötétkék folt valószínűleg egy Brewster-féle sötét folt. Részletes magyarázatért lásd a szöveget.

Elemzés

A 180° látószögű képalkotó polarimetria lehetőséget nyújtott arra, hogy a vízfelszín tükrözéspolarizációs tulajdonságait különböző égboltszituációk mellett vizsgáljuk. E technikával Gál és munkatársai [7] mérték először egy sima fekete vízfelszín polarizációs mintázatait tiszta ég alatt, napnyugtakor. Ezen úttörő vizsgálatot kiterjesztve, Stokes–Mueller-formalizmust [2, 4] alkalmazva meghatároztuk a vízfelszínről tükröződő égfény polarizációs mintázatait abból a célból, hogy kiderítsük a Brewster-féle sötét folt jellemzőit és kialakulásának feltételeit.

A tiszta (felhőtlen és ködmentes) ég polarizációs mintázata a szoláris-antiszoláris meridiánra tükröszimmetrikus [15, 16]. Ennek köszönhetően a két BSF is tükröszimmetrikusan helyezkedik el a szoláris-antiszoláris meridián tükörképének két oldalán (4. ábra írásunk első részében). Ha a θ_N napmagasság 58° -nál nagyobb, akkor a BSF területe olyan kicsi, hogy szabad szemmel nem látható. Így a BSF gyakorlatilag csak $\theta_N < 58^\circ$ esetén létezik tiszta ég alatt. A BSF akkor a legnagyobb s így a legkönnyebb megfigyelni, amikor a Nap a horizonton van, azaz naplementekor vagy napkeltekor (4. és 5. ábra írásunk első részében).

Können [1] szerint hullámozó vízfelszínen a BSF kerekded háromszög alakú. A számítógéppel modellezett BSF formája tényleg háromszög-tojásdad, főleg alacsony napmagasságoknál (4.a, 4.b és 6.c ábra írásunk első részében).

Bár azonos napállás mellett a teljesen borult vagy ködös égboltok polarizációirány-mintázata nagyon

hasonló a tiszta égbolthéhoz, az előbbi egek fényének polarizációfoka annyira alacsony, hogy nem keletkezik BSF még alacsony napállások esetén sem (8. ábra írásunk első részében).

Berry és munkatársai [10] modellje jobban leírja az ég polarizációs mintázatát, mint a klasszikus Rayleigh-modell, amiben nincsenek polarizálatlan (neutrális) pontok. Az előbbi modellt használva ezért valószínűbben modelleztük a BSF kialakulásának légkör-optikai körülményeit. Aeroszollokban gazdag atmoszféra esetén, például amikor sivatagi homok vagy erdőtűz füstje lebeg a levegőben, az égfény polarizációfoka a többszörös fényszórás okán jelentősen lecsökken. Emiatt az égfény majdnem polarizálatlan annak ellenére, hogy az ég nem felhős/ködös. Ilyenkor sem alakul ki a vízfelszín Brewster-féle sötét foltja, ugyanúgy, mint borult ég alatt (8. ábra írásunk első részében).

A vizekről készült fényképeken látható sötét folt általában azzal magyarázható, hogy a fényképész lineáris polárszűrőt alkalmazott kamerája lencséje előtt, feltehetően azért, hogy fokozza a fénykép vizuális élményét. Ilyenkor a polárszűrő áteresztési síkja függőleges, ami így a Brewster-szög környékén kiszűri a vízről visszaverődő vízszintesen poláros fényt. Ritka esetekben a fénykép bizonyos jellemzőiből meg lehet állapítani, hogy használtak-e vagy sem polárszűrőt a kép készítésekor. A 9., 10. és 11.b, d, f, h, j ábrákon közölt fényképek expozíciójakor nem használtunk polárszűrőt.

Festők alkalomadtán megörökökíthetik a Brewster-féle sötét foltot, de néha helytelenül, mert többnyire a műtermükben, emlékezetből festik le a látottakat, miáltal elfelejtik, hogy pontosan mit és hogyan láttak. Festményeken a vízfelszín sötét foltjai sokszor tárgyak (például épületek, fák, bokrok, felhők, hegyek) tükröződésével magyarázhatók. Mi csak néhány

olyan festményt találtunk (belőlük itt csak egyet mutatunk be a 12. ábrán), ahol a vízfelület sötét foltját nem lehet e triviális visszaverődésekkel magyarázni, hanem csakis a Brewster-féle sötét folttal tudjuk értelmezni.

Végül megemlítjük, hogy érdemes lenne tanulmányozni a halevő vagy más gázló madarak zsákmányszerzési viselkedését, például gémekek sekély vizekbeli vadászását alacsony napmagasságok mellett abból a szempontból, hogy északi/déli irányban gyakrabban próbálkoznak-e halat elkapni, mivel ekkor – a Brewster-féle sötét foltnak köszönhetően – könnyebben látnak a vízfelszín alá [17].

A FIZIKA TANÍTÁSA

KEVÉSSÉ ISMERT DEMONSTRÁCIÓS KÍSÉRLETEK CSEPPFOLYÓS NITROGÉNNEL

Medvegy Tibor

Pannon Egyetem, Fizika és Mechatronika Intézet

Légkörünk 78 V/V%-át nitrogén teszi ki, ezért joggal nevezhetjük hétköznapi anyagnak. Azonban cseppfolyós halmazállapotában igen különlegessé és érdekessé válhat a fiatalok számára. A folyékony nitrogén ezért a tudománynépszerűsítő kísérleti előadások egyik, szinte elhagyhatatlan kelléke, amelynek felhasználásával számos látványos és tanulságos kísérlet végezhető el. Cikkemben olyan, kevésbé közismert, cseppfolyós nitrogént alkalmazó kísérleteket mutatok be, amelyek igen hasznosnak bizonyultak a fizika iránti érdeklődés felkeltésére és a tudománynépszerűsítésre egyaránt. Az interneten – természetesen – e témában számos kísérletleírás és videó lelhető fel, néhány ajánlott weblap az irodalomban megtalálható [1, 2].

A biztonság

Cseppfolyós nitrogént alkalmazó kísérleteink során legfontosabb tényező a biztonság, ezért nagyon fontos fokozott óvatossággal kezelni ezt az anyagot. Az esetleges fröcsköléssel járó kísérletek során mindig viseljük védőszemüveget és megfelelő védőkesztyűt, valamint ügyeljünk arra, hogy pusztán kézzel ne érintsük meg a folyékony nitrogén hőmérsékletére hűtött kísérleti eszközeinket! A kísérleti bemutatókat csak jól szellőző helyen végezzük, és mindig tartsuk szem előtt a hallgatóság biztonságát!

Irodalom

14. Painting of Edouard Vuillard (1897) entitled 'The Ferryman' (Musée D'Orsay, Paris). [https://www.google.hu/search?q=Edouard+Vuillard+\(1897\):+The+Ferryman&client=firefox-b\&source=lnms\&tbn=isch\&sa=X\&ved=0ahUKEwj3Ma7xIjSAhXGiiwKHadHD6MQ\AUICGgB\&biw=1024\&bih=644\#imgsrc=VT3VBxnm8DRo6M](https://www.google.hu/search?q=Edouard+Vuillard+(1897):+The+Ferryman&client=firefox-b\&source=lnms\&tbn=isch\&sa=X\&ved=0ahUKEwj3Ma7xIjSAhXGiiwKHadHD6MQ\AUICGgB\&biw=1024\&bih=644\#imgsrc=VT3VBxnm8DRo6M)
15. Coulson K. L.: *Polarization and Intensity of Light in the Atmosphere*. Deepak Publishing (1988)
16. Horváth G., Barta A., Hegedüs R.: Chapter 18. Polarization of the sky. In: G. Horváth (editor): *Polarized Light and Polarization Vision in Animal Sciences*. Springer: Heidelberg, Berlin, New York (2014) 367–406.
17. Pye D.: *Polarised Light in Science and Nature*. Institute of Physics Publishing: Bristol, Philadelphia (2001)

Cseppfolyós nitrogén viselkedése szobahőmérsékletű környezetben

Normál légköri nyomáson a cseppfolyós nitrogén forráspontja $-195,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, ezért szobahőmérsékletű környezetben állandó forrásban van. Ezt a tulajdonságát egy üvegedénybe töltve mutathatjuk meg nagyobb közönségnek, azonban az egyszerű főzőpohár elpattanhat a hirtelen hőhatástól, illetve, amennyiben egyszerű üvegedényben tároljuk a folyékony nitrogént, akkor annak külső – immár hideg – falára a levegő páratartalma hamar kicsapódik, átlátszatlanná téve azt. A legjobb megoldás a duplafalú – falai között vákuumot tartalmazó – üvegedény (ez a Dewar-edény) alkalmazása, amelynek külső falára még cseppfolyós nitrogén tárolása mellett sem azonnal fagy ki a levegő páratartalma. Ezen edényben jól megfigyelhetjük a nitrogén



Medvegy Tibor a Pannon Egyetem Fizika és Mechatronika Intézetének oktatója. A Szegedi Tudományegyetemen 2010-ben szerzett fizikatanári diplomát, jelenleg az ELTE Fizika Tanítása Doktori Program doktorjelöltje. Kutatási területei a különleges anyagok és a multimédiás eszközök fizikaoktatásban való felhasználási lehetőségeinek vizsgálata, valamint az elektro- és magnetoreológiai folyadékok szenzor- és aktuátorteknikában való alkalmazási lehetőségeinek fejlesztése.

folyamatos forrását, valamint láthatjuk, hogy vízszere-
n átjáró és színtelen (1. ábra).

A szobahőmérsékleten tartott cseppfolyós nitrogén
folyamatos forrásával kapcsolatosan számos érdekes
kísérlet végezhető el.

- *Oxidáció és a nitrogén*

A nitrogén a levegőben molekuláris (N_2) alakban ta-
lálható, amelyben a két atomot háromszoros kovalens
kötés köt össze. Oxidáció szempontjából inert, nem
táplálja az égést. Egy nagyobb szájú, cseppfolyós ni-
trogént tartalmazó edénybe égő gyertyát eresztve be-
mutatható, hogy a folyamatos forrás során képződő
hideg – ezáltal normál légköri nyomáson sűrű – ni-
trógéngáz kitölti az edényt egészen annak szájáig, onnan
pedig a szájon átbukva lefelé süllyed. A sűrű ni-
trógéngáz kiszorítja az égéshez nélkülözhetetlen oxi-
gént, ezáltal a gyertya lángja az edény szájának vona-
lában azonnal kialszik.

- *Folyékony nitrogén forró vízbe öntve*

Cseppfolyós nitrogént alkalmazó kísérleteink során a
nitrogént tároló edényből kibugyogó „fehér füst” a
hallgatóság soraiban sokszor azt a tévképzetet kelti,
hogy ilyen esetben a nitrogéngázt látják. Természe-
sen a gáz halmazállapotú nitrogén – csakúgy, mint a
levegő, amelynek nagy részét kiteszi – teljesen átlát-
szó. A megfigyelt fehér „füst” nem más, mint a levegő-
ből a hideg hatására kicsapódó pára. Ezt bemutathat-
juk például úgy, hogy az edénybe fűjünk és ekkor –
úgy, mint télen – meglátszik a leheletünk kicsapódó
páratartalma. A másik lehetőség, hogy nagyobb men-
nyiségű cseppfolyós nitrogént egy-két méter magas-
ságból egy lavórnyi forró vízbe öntünk. Ez felkavarja a
vizet és a hirtelen, nagy mennyiségben elforró ni-
trógén lehűti a forró víz fölötti levegőt, ezáltal egy na-
gyobb ködpamacst hoz létre.

- *Folyékony nitrogén mosogatószeres vízbe öntve*

Egy fél literes PET-palackban pár deciliternyi mosoga-
tószeres vizet készítsünk, majd egy kevés cseppfolyós
nitrogént öntsünk rá! Megfigyelhetjük, hogy a folyé-
kony nitrogén a víz felszínén marad, ugyanis sűrűsége
 $0,808 \text{ g/cm}^3$ – kisebb a vízénél. Enyhe rázás hatására a
víz felső rétege és a nitrogén összekeveredik, az utóbbi
heves buborékképződés közepette elforr. A nitrogén-
gáz felfújja a képződő buborékokat, így a hab a palack
összeszűkülő száján át akár több méterre is kilőhet.

- *Szappanbuborék-fújás*

Szappanos vagy mosogatószeres víz segítségével vé-
kony hátyát vonhatunk egy edény szájára, amelybe
előzetesen vizet, majd arra pár csepp nitrogént töltöt-
tünk. Az elforró nitrogén felfújja a buborékot, aminek
belsejében a víz és a hideg nitrogéngáz miatt átlátszat-
lan köd jön létre (2. ábra). Igen látványos, ahogy a
buborék kipukkanásakor a köd még egy pillanatig
megtartja a formáját. Érdekes minél szélesebb szájú
edényt használni, illetve a mosogatószeres vízzel elő-
zetesen bekenni az edény száját. A kezdeti hátyát



1. ábra. Cseppfolyós nitrogén Dewar-edényben.

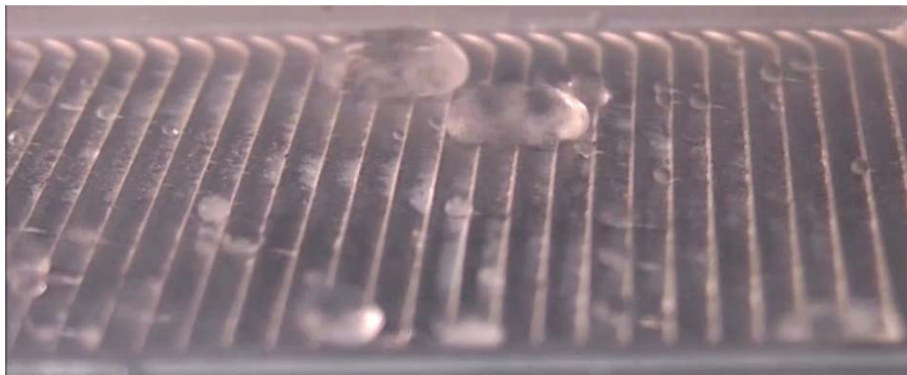
például egy hosszú, mosogatószeres vízbe mártott
szövetcsíkkal vihetjük fel.

- *Légágyú készítése*

Légágyú készítése házilag igen egyszerű, egy na-
gyobb tartályra, rugalmas oldalfalra és egy szűk, kör-
keresztmetszetű nyílásra van szükségünk. E célra akár
egy 1,5 literes PET-palack is tökéletesen megfelel. A
palack oldalát picit összenyomva levegő áramlik ki az
üveg száján, és egy önmagába visszaforduló gyűrűt
képez, amely az edény szájára merőleges irányban
egyben maradva távolodik az „ágyútól”. Ezzel a mód-
szerrel távolról elfújható például egy gyertya lángja is.
A keletkező gyűrű szemléltetésére a palackba egy

2. ábra. Szappanbuborék-fújás nitrogénnel.





3. ábra. A „lépcsőmászó” nitrogéncseppek.

gén hirtelen, nagy nyomása kinyomja a vizet a palack száján, és a palack az előzőhöz hasonlóan elrepül. Amennyiben a palack száját a másik tenyerünkhöz szorítjuk, miközben fejfelé lefelé fordítjuk, a kilövés magassága növelhető.

- *Leidenfrost-effektus*
– a lépcsőn felfelé lépegető nitrogéncsepp

Egy megfelelően kialakított, fűrészfogminta profilú felüle-

kevés vizet, majd arra még kevesebb cseppfolyós nitrogént tölthetünk. A már ismertett okból ekkor fehér köd tölti ki a palackot, amely az oldalfalak összenyomásakor a képződő gyűrűt jól láthatóvá teszi. Erős fényforrással alulról megvilágítva a keletkező gyűrűket látványos árnyjátékot hozhatunk létre a terem plafonján. Némi gyakorlással akár egymáson átbúvó gyűrűket is létrehozhatunk.

- *Hosszú cső folyékony nitrogénbe merítése*

Egy hosszú, egyenes fémcsővet a cseppfolyós nitrogént tároló edényünkbe merítve (úgy, hogy az egyik vége még kilógjon abból) azt tapasztaljuk, hogy a nitrogén szökőkútszerűen fröcsköl ki a cső felső végén. A jelenség oka az, hogy a cső a nitrogénnel kontaktusba lépve azt azonnal intenzív forrásra készíti. A bemerítéskor a csőbe kerülő folyékony nitrogént az alatta is képződő nitrogéngáz a cső felső vége felé hajtja, és ezért jön létre a nitrogén szökőkút. Vigyázzunk, mindig viseljünk megfelelő védőfelszerelést, és sohasem irányítsuk emberre a csövet!

- *Légpárnás kréta*

A kréta porózus szerkezete lehetővé teszi, hogy az előzetesen cseppfolyós nitrogénbe mártott kréta, a kivétel után sík felületre helyezve szinte teljesen sűrűlódásmentesen mozoghasson az adott felületen. Ennek oka, hogy a számos lyukon egyszerre kiáramló nitrogéngáz a kréta alatt légpárnát hoz létre. A kísérlet pezsgőtablettával is elvégezhető, azonban a tablettát tömörebb, ezért a hatás nem olyan tartós.

- *Rakétaépítés – vízzel, illetve nitrogénnel*

A cseppfolyós nitrogén remekül használható rakétaépítéshez is. Mindössze némi nitrogénre és egy PET-palackra lesz szükségünk. A kísérletet kétféle módon is elvégezhetjük. 1) Pár deciliter nitrogént töltünk a palackba, majd gumidugóval lezárjuk azt. A gumit a kezünkbe fogva a palackot fejfelé tartva a növekvő nyomás előbb-utóbb kilövi a rakétát a kezünk közül. A nyomás az edény száján át kinyomja a cseppfolyós nitrogént, így a lendületmegmaradás értelmében a palack az ellenkező irányba gyorsul. 2) Másik lehetséges elrendezésben a palackunkat harmadáig töltjük vízzel, majd egy kevés (körülbelül fél deciliter) nitrogént öntünk rá. A palackot megfordítva a vízzel keveredő, felforró nitro-

gen a Leidenfrost-effektusnak köszönhetően a cseppek mindig egy bizonyos – a mintázat által meghatározott – irányba kezdenek gyorsulni. A jelenség hatására a cseppek pár fokos dőlésszögű lejtőn akár felfelé is képesek haladni [3]. A magyarázat a cseppekből távozó gázáram felület általi irányítottasága. A felület alakjának kialakítása következtében a gáz a csepp alól egy meghatározott irányba távozik, ezáltal azzal ellenkező irányban hajtva a cseppet (3. ábra).

Gázok hűtése cseppfolyós nitrogénnel

Az itt következő kísérletek során a nitrogént, mint hűtőközeget alkalmazzuk, gázokat hűtünk le és azok viselkedését figyeljük meg.

- *Héliummal töltött lufi hűtése*

Egy héliummal töltött lufi hűtésével bemutatatható, hogy a héliumos lufi nem minden körülmény között repül. A lufi rugalmas fala miatt a benne található gáz nitrogénnel való hűtése során is közel állandó, légköri nyomású marad, azonban sűrűsége eközben a többszörösére is nőhet. A lehűtött, ezáltal összehúzóerővel és sűrű héliumgázzal teli lufi nem lebeg, azonban amint visszanyeri eredeti hőmérsékletét, lassan ismét kevésbé sűrűvé válik az őt körülvevő levegőnél és felszáll.

- *Lezárt alumíniumdoboz hűtése*

Üres, vékony falú alumíniumdobozt fejfelé egy gumilapra helyezve, majd a doboz alján lévő mélyedésbe cseppfolyós nitrogént öntve bemutatatható, hogy a hűtés hatására lecsökkenő belső légnyomás miatt a külső légnyomás lassan összeroppantja a dobozt.

- *Főtt tojás bejuttatás szűk szájú lombikba*

Jól ismert kísérlet, hogy egy égő papírdarabot egy Erlenmeyer-lombikba dobunk, majd a lombik szájára egy megpuccolt főtt tojást helyezünk. Az üvegben lévő meleg levegő a tűz kialvása után lehűl, nyomása lecsökken, ezért a szűk nyíláson át beszippantja a tojást. A kísérlet folyékony nitrogénnel is elvégezhető, ekkor a lombik szájára helyezzük a tojást, majd a lombikot nitrogénnel kezdjük hűteni. A végeredmény azonos.



4. ábra. „Emlékező műanyag” melegedése.

- *Fénycső hűtése*

A fénycsövek, illetve kompakt fénycsövek olyan higanygőzt tartalmazó gázkisülési csövek, amelyek a gázkisülés UV-sugárzását az üveg belső felületére felvitt fényporral látható fénnyé alakítják. A fénycsövek folyékony nitrogénbe merítésével elérhető, hogy a bennük lévő higanygőz az oldalfalakon kondenzálódva ne legyen képes részt venni a kisülésben, ezért a fénycső elhalványodik, illetve – az alacsonyabb nyomás miatt – a begyújtási idő is megnövekszik.

Hétköznapi anyagok a cseppfolyós nitrogén hőmérsékletén

A jól ismert kísérleteken túl, amelyekben például gumilabdát, vagy éppen virágot merítünk cseppfolyós nitrogénbe, számos más kísérletet is elvégezhetünk hétköznapi anyagainkkal ezen a hőmérsékleten.

- *Szappanbuborék fagyasztása*

Nagyon szép látványt nyújt, amikor egy szappanbuborék megfagy. A kísérlethez a buborékot nem szabad a folyékony nitrogénbe helyezni, hiszen ekkor azonnal kipukkan. Ellenben a cseppfolyós nitrogén fölött lévő hideg nitrogéngázzal könnyen lehűthetjük a buborékunkat. Problémát okozhat, hogy a zárt buborékban a levegő is lehűl, és ezáltal nyomása csökken. Ekkor a külső légnyomás összeroppantja a vékony jégbuborékot, de egy szívószállal kis nyílást – amelyen át kiegyenlítődhet a nyomás – képezve elkerülhetjük ezt a hatást. Egy alul már megfagyott, de felül kipukkant buborék remek csónakot alkot. A ropant könnyű félgömb formájú jégbuborék a sűrű nitrogéngázon „úszni” képes.

- *Sejtmodell viselkedése*

Az emberi test fagyasztással való hibernálásakor a sejtek víztartalmának megfagyása során képződő jégkristályok szétroncsolják a sejteket. Ez a folyamat sajnos lehetetlenné teszi egy ilyen eljárás túlélését. Ezt a jelenséget egy modellkísérlettel mutathatjuk be. Töltsünk kevés vizet egy lufiba, majd légmentesen zárjuk le. Lufinkat dobjuk cseppfolyós nitrogénbe, közben ügyeljünk arra, hogy a lufit a kísérlet teljes idejében ellepje a nitrogén (a víz magas fajhője miatt ilyenkor nagy mennyiségű nitrogén forr el, ezt a mennyiséget pótolnunk kell, hogy a nitrogén végig ellepje a lufit). Először a lufi, illetve a víz külső rétege fagy meg, ké-

sőbb a belső részek is megfagynak, ami a térfogat növekedésével jár. A lufi fagyott anyaga, illetve a külső jégburok egy idő után nem képes elviselni a fellépő mechanikai feszültséget, ezért szétpattan.

- *Világító rúd melegítése-hűtése*

Az úgynevezett világító rudakban, egy kémiai reakcióban (difenil-oxalát és hidrogén-peroxid) keletkező instabil molekula (1,2-dioxietán-dion) bomlásakor felszabaduló energiát a rúdban található festékmolekulák abszorbeálják, majd fény formájában emittálják. A reagensek egyike a rúd műanyag csövén belül egy üvegcsőben található, ennek eltörésével indulhat meg a reakció. A kémiai reakciók sebessége sok esetben erősen hőmérsékletfüggő, ezt mutathatjuk be azáltal, hogy egy világító rudat megtörünk, majd azt folyékony nitrogénnel hűtjük, illetve meleg vízzel melegítjük. A rúd fényereje függ a hőmérsékletétől.

- *Kén színváltozása*

A kénnek számos allotróp módosulata ismert. Ezek egyike a cseppfolyós nitrogén segítségével bemutatható. A kén egy részét borítsuk ki egy tálcára, a másik részét pedig egy kémcsőben (ne zárjuk le!) hűtsük le. A kémcső tartalmát borítsuk a szobahőmérsékletű sárga színű kén mellé és hasonlítsuk össze színüket. A $-195,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletre hűtött kén fehér színű, azonban ahogyan melegszik, egyre inkább visszanyeri eredeti sárga színét.

- *Emlékező műanyag készítése*

Az alakemlékező anyagok működését könnyen bemutatathatjuk egy egyszerű befőttes gumival is, amennyiben deformált állapotban tartva cseppfolyós nitrogénnel hűtjük azt. Amíg a folyékony nitrogén hőmérsékletén van, a deformációja a kiváltó hatás elmúltával sem áll helyre, azonban amikor emeljük hőmérsékletét, visszanyeri eredeti formáját (4. ábra).

Fémek és félvezetők viselkedése a cseppfolyós nitrogén hőmérsékletén

A kísérletek következő témája a fémek és félvezetők viselkedése extrém hidegben. Az itt következő kísérletek során a nitrogént továbbra is hűtőközegként alkalmazzuk, fémeket és félvezető eszközöket hűtünk a folyékony nitrogén hőmérsékletére és megfigyeljük azok viselkedését.

- *Bimetall melegítése-hűtése*

A bimetallszalagok két különböző lineáris hőtágulási együtthatójú fémlemez összeszegecslésével állíthatók elő. Az azonos hosszúságú, különböző anyagi minőségű fémek melegítés hatására különböző mértékben tágnulnak, a szegecslés miatt a fémek egy körív formájában meghajlanak úgy, hogy a külső köríven az a fém helyezkedik el, amelyiknek nagyobb a lineáris hőtágulási együtthatója. Ez a kísérlet hűtéssel is megvalósítható, azonban ebben az esetben természetesen az ellenkező irányba görbül a bimetallszalag. Amennyiben a szalag egyik végét a hűtés után rögtön melegíteni kezdjük, akár S-alakban is meggörbíthetjük azt.

- *Gravesande-készülék hűtése*

A Gravesande-készülék egy fémgolyóból és egy vele azonos anyagi minőségű, a golyó átmérőjénél éppen egy picivel nagyobb belső átmérőjű gyűrűből áll. Azonos hőmérsékleten a golyó éppen átfér a gyűrűn, azonban a golyó melegítésekor annak anyaga csekély mértékben kitágul, így a lyukon már nem fér át. A gyűrű melegítésével, ha a két fém azonos hőmérsékletre kerül, immár ismét átfér a golyó. A kísérlet a fémek hűtésével is bemutatatható, a cseppfolyós nitrogénbe mártott gyűrűn – annak összehúzódása miatt – a szobahőmérsékletű golyó nem fér át, azonban a golyó hűtésével ismét visszaállnak a méretarányok. A golyó hűtésével és a gyűrű egyidejű melegítésével még nagyobbá tehetjük a méretkülönbségeket.

- *Hőkereszt hűtése*

A hőkeresztrel az anyagok különböző hővezetési tényezőjét mutathatjuk be. A kereszt közepén elhelyezkedő csomópontból indulnak ki az egyenlő méretű, de különböző anyagú pálcák. A csomópontot melegítve azt tapasztalhatjuk, hogy a pálcák végére helyezett viaszgolyók egymás után leolvadnak. Természetesen a nagyobb hővezetési tényezőjű pálcáknál hamarabb, míg az alacsony hővezetésű anyagúak esetén később következik be. Ezt a kísérletet hűtéssel is elvégezhetjük, a csomópontra egy fémedényt helyezve, majd abba cseppfolyós nitrogént töltve hűthetjük a csomópontot. A pálcák végeire cseppentett egy-egy csepp víz megfagyása a pálcák hővezetési tényezőjének nagyság szerint csökkenő sorrendjében következik be.

- *Örvényáramok bemutatása – mágnes a rézcsőben*

Amennyiben egy függőlegesen álló nem ferromágneses vezető csővön – például réz- vagy alumíniumcsővön – egy erős mágnesrudat ejtünk keresztül, azt tapasztaljuk, hogy a csőhöz képest mozgó mágnes miatt örvényáramok indukálódnak mind a mágnes felett, mind alatta. Az örvényáramok iránya alul és felül ellentétes, ezek mágneses tere a Lentz-törvény értelmében alul taszító erőhatást fejt ki a mágnesre, felül pedig vonzót. Ennek következtében a nehézségi gyorsulás ellenében az örvényáramok lassítják a mágnes zuhanását. Mérjük meg a csővön való áthaladás idejét, majd hűtsük le a csövet folyékony nitrogén segítségével. A kísérletet megismételve azt tapasztal-

juk, hogy az áthaladási idő a többszörösére növekedett. A jelenség magyarázata, hogy a cső elektromos vezetőképessége a hőmérséklet-változás hatására lényegesen megnőtt, ezáltal ugyanaz a mágneses hatás erősebb örvényáramot képes indukálni a csőben.

- *Örvényáramok bemutatása – Lentz-ágyú*

Egy hosszú vasrúd egyik végére tekercset csévélve, majd a tekercsre változó feszültséget kapcsolva úgynevezett Lentz-ágyúhoz juthatunk. A vasrúd szabad végére egy vezető anyagból készült gyűrűt húzzunk, az elektromágnes bekapcsolásakor a rúdban hirtelen változó mágneses tér alakul ki, ennek hatására a gyűrűben örvényáram indukálódik. A gyűrűben folyó örvényáram mágneses tere és a rúd mágneses tere – a Lentz-törvény értelmében – taszítják egymást. Egy könnyebb gyűrű akár le is repülhet a rúdról. Figyeljük meg, hogy ágyúnk milyen magasra repíti a gyűrűt, majd a gyűrűt merítsük cseppfolyós nitrogénbe. A kísérletet ezután a hűtött gyűrűvel megismételve azt tapasztaljuk, hogy ágyúnk a gyűrűt többszörös magasságba képes fellőni. A kilövés magasságának növelését a tekercs hűtésével is elérhetjük.

- *Villanykörte izzószála folyékony nitrogénben*

Egy egyszerű villanykörte üvegburkolatát eltávolítva, majd izzószálát feszültség alá helyezve a szál pár pillanat alatt elég. A körtében eredetileg megtalálható védőgáz oxigénmentes volt, ezért az izzásban lévő szál oxigén hiányában nem oxidálódhatott, nem éghetett el. Ha az üvegburkolat nélküli izzószálát cseppfolyós nitrogénbe merítjük, és így helyezzük feszültség alá, a szál szépen világít (5. ábra). A cseppfolyós nitrogénben a védőgázéhoz hasonló oxigénmentes állapotban a szál sokkal tovább képes világítani. (Megjegyzem, hogy egy kevés oxigén mindig kondenzálódik a cseppfolyós nitrogénben, ezért percek után a szál mégiscsak eloxidál.) A világító izzószál a forrásban lévő nitrogénen belül igen látványos, érdemes elsötétíte-

5. ábra. Villanykörte izzószála cseppfolyós nitrogénben.



ni a termet, illetve duplafalú üvegedényben tárolt nitrogénben elvégezni a kísérletet.

- *Fényemittáló dióda hűtése*

Egy teljesen más elven működő világítótessel szintén kísérletezhetünk. Vörös vagy narancssárga fényemittáló dióda a cseppfolyós nitrogénbe merítésekor – ha közben folyamatosan világít – megváltoztatja színét. Előbb sárgássá, majd zölddé válik a kibocsátott fény.

A jelenség magyarázata, hogy a félvezetők hűtésekor a tiltott sáv kissé kiszélesedik, ezáltal a kibocsátott fény hullámhossza csekély mértékben megnő (6. ábra) [4]. Az előző kísérlethez hasonlóan ezt is érdemes elsötétített teremben, illetve duplafalú üvegedényben tárolt nitrogénben elvégezni.



6. ábra. Narancssárga LED fényváltozása a hűtés során.

- *Égő anyag cseppfolyós oxigénbe merítése*

Amennyiben a már ismertetett módon sikerült pár köbcentiméternyi folyékony oxigént összegyűjteni, öntsük azt át egy előzetesen lehűtött fémedénybe, vagy olvasztótégelybe, majd dobjunk bele egy izzásban lévő fadarabkát. A fadarabot a Leidenfrost-effektus megvédi a gyors lehűléstől, a forrásban lévő oxigén pedig erősen táplálja a fadarab égését. Ezt a kísérletet is elsötétített teremben érdemes elvégezni.

- *Folyékony oxigénnel átitatott anyagok égése*

Ha a folyékony oxigénnel átitatott vattát meggyújtjuk, akkor az úgynevezett lőgyapothoz hasonlatos intenzitással ég el.

- *Acélgyapot égése oxigéndús környezetben*

A vékony acélszálakból álló acélgyapotot meggyújtva, majd azt cseppfolyós oxigént tartalmazó edénybe helyezve az acél olyan intenzitással ég el, hogy egy része megolvad. Vigyázzunk, ezt a kísérletet üvegedényben elvégezve, edényünk – a hősokk következtében – minden bizonnyal el fog pattanni!

Gázok hűtése cseppfolyós nitrogénnel

Cseppfolyós nitrogén segítségével képesek vagyunk folyékony oxigént előállítani. A következő témánk a folyékony oxigén előállításával, és az azzal elvégezhető kísérletekkel foglalkozik.

- *Cseppfolyós oxigén előállítása*

Normál légköri nyomáson a cseppfolyós oxigén forráspontja $-182,95\text{ }^{\circ}\text{C}$, tehát csaknem $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal magasabb a nitrogén forráspontjánál. Egy, a cseppfolyós nitrogén hőmérsékletére hűtött felületen a levegő oxigénje ugyanúgy képes kondenzálódni, ahogy a vízpára kondenzálódik a fürdőszoba hűvös csempéjén a zuhanyozás után. Egy legömbölyített aljú fémedénybe (vagy például egy teáskannába) folyékony nitrogént töltve azt tapasztaljuk, hogy az edény külső felén folyadékréteg képződik, és lecsepeg annak aljáról (7. ábra). Ezt a folyadékot egy kívülről hűtött edényben – például egy nitrogénnel teli pohárba állított kémcsőben – felfoghatjuk.

- *A folyékony oxigén paramágnesessége*

A cseppfolyós oxigén erősen paramágneses, relatív permeabilitása 1,0036 ezért a mágnes mindkét pólusa gyengén vonzza. Egy erős neodímium mágnesre, vagy két mágnespóla közé folyékony oxigént öntve e tulajdonsága bemutatható, hiszen az oxigéncsepp a mágnespólok között marad. A kísérletet nitrogénnel megismételve azt tapasztaljuk, hogy – az oxigénnel ellentétben – a nitrogén elfolyik a mágnespólok közül.



Irodalom

1. Jefferson Lab – Frostbite Theater: <https://education.jlab.org/frost>
2. Cryofab – Fun with Liquid Nitrogen: <https://www.cryofab.com/news/cryogenic-links-round-up/fun-with-liquid-nitrogen-2016>
3. H. Linke és mtsai.: Self-Propelled Leidenfrost Droplets. *Physical Review Letters* (2006) 154502.
4. Ch. Kittel: *Introduction to Solid State Physics*. J. Wiley & Sons, New York (1986) 185.

7. ábra. Cseppfolyós oxigén kondenzációja.



A MICROSOFT EXCEL PROGRAM HASZNÁLATA A TERMÉSZETTUDOMÁNYOK TANÍTÁSÁBAN

Szakmány Csaba

ELTE Trefort Ágoston Gyakorló Gimnázium, Budapest

A természettudományos megismerés során mérhető mennyiségekkel dolgozunk, amelyek között összefüggéseket, arányosságokat keresünk. Ha diákjainknak be szeretnénk mutatni a természettudományos megismerés útját fizika- vagy kémiaórákon, elkerülhetetlen bizonyos számítások elvégzése. A természettudományos oktatás jelen helyzetében, elsősorban időhiány miatt, az alapórán sokszor egyáltalán nem, vagy csak alig jut idő számításos feladatok gyakorlására. Ráadásul – még ha szerepelnek is feladatok – azok gyakran megrekednek az elemi, képletbe helyettesítős szinten. Ugyanis az ennél nehezebb, összetettebb feladatok megoldására a diákoknak nincs motivációjuk, és sokszor bizonyos matematikai ismeretek, vagy csak az azokban való jártasság hiánya tényleges akadályt jelent. A diákok (legalábbis a közkeletű felfogás szerint) a lenyűgöző, vizuális élményt adó, látványos kísérletekre, prezentációkra, videókra vevők. Ez azonban csak szűkített, akár torzított képe annak, amit a természettudományok valójában jelentenek.

Céлом bemutatni, hogy a felmerülő nehézségek (például matematikai ismeretek hiánya) áthidalhatók, és így egy-egy számítási feladat elvégzésével, vagy mérőkísérlet kiértékelésével is élményhez lehet juttatni a diákokat.

Számítógép az adatfeldolgozásban

A tanórákon, szakkörökön elvégzett kísérletek jelentős része mérés. Ez főleg a fizikára igaz, de kémiából is említhetők például a titrálások. A mért adatok feldolgozása – azaz a keresett mennyiség kiszámítása a közvetlenül mért adatból – sokszor hosszadalmas. Különösen igaz ez, ha párhuzamos méréseket végzünk, és többször, egymás után, ugyanazt a számítási folyamatot kell végigvinni.

Sokszor – valamilyen okból – csak a kísérlet eredményét szeretnénk bemutatni diákjainknak, például amikor

- az előző órákon és házi feladatokban a számítás menetét már gyakoroltattuk, most az élő mérőkísérlet a lenyeg;

- a mérés elvégzése önmagában is hosszú időt vesz igénybe és sokat elvisz a tanórából, így nem lenne idő a mérés eredményének diszkussziójára;

- alacsonyabb évfolyamos diákokkal a számítás a matematikai apparátus hiányosságai miatt nehézségbe ütközne.

A fenti esetekben a kiértékelés lépéseinek és a számítások elvégzésére eredményesen alkalmazható a Microsoft Excel program. Egy megfelelően előkészített táblázatba csak a mérési adatokat kell beírni, és a dinamikus frissülő táblázat azonnal kiadja az ebből számolható eredményeket, végső soron a meghatározandó mennyiséget.

A táblázatot a tanár maga is készítheti, de a diákok számára igen tanulságos, ha ők maguk készítik egy-egy ilyen file-t. A számítás algoritmusa ugyanis természetesen megegyezik a „papíron” történő feladatmegoldással, a paraméteres számításra hasonlít. A mennyiségek jele helyett itt a megfelelő cellákra kell hivatkozni, a matematikai műveletek egy része helyett pedig a programba beépített függvényeket kell használni.

A módszer fizikai és kémiai tárgyú mérésekben is alkalmazható. További előnyei között megemlíthető, hogy a diákok okostelefonjuk segítségével már az órán vagy szakkörön is használhatják a táblázatot, így az a tanulókísérletek során is alkalmazható. Méréssorozat esetén az adatok grafikus ábrázolása a programban rögtön megoldható. Az esetleges mérési hibák korrekciójával a meghatározott adat értéke is azonnal a pontosabb értékre frissül. A tanár a diákok közt feloszthatja a méréseket, például különböző paraméterek kiadásával, majd az adatokat egyesítve megosztott táblázat (például Google Drive) segítségével megállapíthatják a mennyiségek egymástól való függését és azokat grafikonokon ábrázolhatják. Ez a módszer házi feladatként is alkalmazható, a diákok az otthoni kísérletben mért értékeiket még otthonról feltöltik a közös táblázatba. A módszer fontos, előnyös tulajdonsága, hogy a számolási nehézségekkel, részképességzavarral küzdő diákok is örömmel bekapcsolódhatnak a mérési feladatokba, azok kiértékelése számukra sem okoz megoldhatatlan problémát, így frusztrációt. A sikerélmény kedvet adhat nekik „hagyományos” számítási feladatok elvégzéséhez. Végül, a módszer a tanári munkát is könnyíti az ismeretlen mennyiség meghatározására irányuló feladatban (például egy ismeretlen koncentrációjú oldat titrálása), hiszen a diákok eredményét könnyen ellenőrizhetjük.



Szakmány Csaba 2010-ben az ELTE-n szerzett fizika-kémia szakos tanári diplomát, az ELTE Trefort Ágoston Gyakorló Gimnázium tanára, kémia vezetőtanár. Az ELTE Anyagfizikai Tanszékén fizika módszertani tárgyakat oktat. Az ELTE Fizika Doktori Iskola Fizika Tanítása Doktori Program hallgatója, kutatási területe a természettudományos tárgyak összehangolt, egységes szemléletű tanítása.

A módszer sokféle természettudományos mérés esetén alkalmazható. Ilyen például a nehézségi gyorsulás mérése különböző magasságból történő ejtések adatai, vagy különböző hosszúságú fonálingák lengésideje alapján. Jól használható például ismeretlen tömegű tárgyak tömegének meghatározására a rezgésidő, vagy a sűrűlási együttható mérésére tárgyak lejtőn való lecsúszása alapján, természetesen a hajlásszögből számítva. Kémiai példaként sav-bázis vagy redoxititrálások esetén az ismeretlen oldat koncentrációjának meghatározása említhető.

Számítógép a feladatmegoldásban

A Microsoft Excelben készített táblázatok nem csak kísérleti adatok feldolgozására alkalmasak. Bizonyos, pedagógiaiilag indokolt esetekben fizikai és kémiai számítási feladatok elvégzésére is használhatjuk ezt a formát.

Microsoft Excellel támogatott feladatmegoldás általánosságban olyan esetekben lehet indokolt és ajánlott, mint például az algoritmikusan megoldható, úgynevezett „típusfeladatok” ellenőrzése, amelyek esetén a feladat megértése után kiderül, hogy a keresett mennyiséget ugyanúgy kell kiszámítani, mint az előző esetekben. Például egy gáz valamely állapotjelzőjének kiszámítása az ideális gáz állapotegyenlete alapján. Elegendően sok számítási feladat füzetben való megoldása és gyakorlása után így új módszert lehet bemutatni a diákoknak arra, hogyan lehet sok adatot egyszerűen és röviden feldolgozni. Például: adott húzóerő hatására – a sűrűlódás ellenére – elmozdul-e a test és mekkora lesz a gyorsulása? Használható sorozatszámítások leegyszerűsítésére annak érdekében, hogy a kiszámított eredményekből önmagukon túlmutató következtetéseket vonjunk le. Például a Naprendszer bolygóinak felszínén érvényes gravitációs gyorsulás értékének kiszámítása. Jól alkalmazható a tanári munka segítésére típusfeladatok eredményének egyszerű meghatározására gyakorló feladatsorok összeállításánál, illetve dolgozatok összeállításánál (párhuzamos osztályok dolgozatai, valamint A, B és C csoport).

A fentieknek alapján a fizika és a kémia szinte minden témakörében találunk olyan feladat típusokat és eseteket, amelyekben a módszer haszonnal alkalmazható.

Az Excellel történő feladatmegoldás módszerét azonban kellő körültekintéssel kell alkalmazni, nehogy a diákok úgy érezzék, hogy a tanár a munka elkerülésére biztatja őket. Mint minden olyan esetben, amikor a tanulási folyamatot számítógéppel támogatjuk és IKT-eszközöket használunk, itt is fontos, hogy e módszert csak akkor alkalmazzuk, amikor többet és mást nyújt, mintha nem élnénk vele. Azaz nem szabad, hogy e módszer a füzetben való feladatmegoldást és gyakorlást teljes mértékben felváltsa, így a diákok gondolkodásának fejlesztése helyett annak elcsökevényesedését indukálja.

Az Excellel történő feladatmegoldást minden esetben meg kell előznie a kellő mennyiségű füzetben

megoldott feladatmegoldás és gyakorlásuk. Csak azután lehet számítógépet használni az összetett feladatok megoldására, amikor az alapszámítások elvégzése már nem okoz elvi nehézséget a diákoknak, csak az időtartamot szeretnénk rövidíteni.

A diákok figyelmét fel kell hívni és tudatosítani kell bennük, hogy a számítógépes módszert csak, mint támogató segítséget használjuk, amely nem helyettesítheti a gondolkodásukat. Hiszen a feladatmegoldás és a gyakorlás célja a rutinszerzés a problémamegoldó gondolkodásban, és a lényeg nem feltétlenül *csak* a végeredmény konkrét értékének a kiszámítása.

Ebben az esetben különösen fontos és szükséges, hogy az Excel-táblázatot a diákok készítsék el, hiszen annak megalkotásakor végig kell követniük azt a gondolatmenetet, amely a feladat papíron történő megoldásához szükséges, sőt a szükséges változtatások (cellahivatkozások, függvények alkalmazása) elvégzése során még absztrakciós készségük és analógiás gondolkodásuk is fejlődik.

A módszer hátránya, hogy egy adott táblázat csak egy-egy konkrét feladatban egy-egy konkrét mennyiség kiszámítására alkalmas. Ezt a tényt bizonyos szempontból előnnyé is alakíthatjuk, ha felhívjuk a diákok figyelmét arra, hogy a „program” csak egy-egy speciális, konkrét esetre alkalmazható, az emberi gondolkodás azonban univerzális.

A továbbiakban konkrét példákat lássunk a módszer alkalmazására!

Képzletbeli űrutazás – Excellel számítva

A gravitációs erőt (talán annak csillagászati vonatkozásai miatt) a diákok, de sokszor a felnőttek részéről is mindig körbeveszi egyfajta „misztikum”. Emiatt sok a témakörrel kapcsolatos bizonytalanság, sőt időnként tévképzet is. Például ilyen kijelentések és kérdések formájában: „Az űrhajósok azért lebegnek az űrhajóban, mert olyan magasan vannak, hogy ott már nem vonzza őket a Föld. Vajon milyen távol kell ehhez menni a Föld felszínétől?”

A gravitációs erő erőtvényének alkalmazásával, számítási feladatok elvégzésével a diákok elmélyíthetik tudásukat és saját „tapasztalatokat” szerezhetnek ezekről a kérdésekről. A számítások azonban matematikai nehézségeket okozhatnak a tanulóknak. A képletben szereplő mennyiségek ugyanis vagy olyan nagyok (például bolygó tömege), vagy olyan kicsik (gravitációs állandó), hogy azokat általában normálalakban írjuk fel. A távolságtól való négyzetes függés is bonyolíthatja a képlettel való számítást. Ezen felül, ha sorozatos számításokat szeretnénk elvégezni, akkor a fenti problémákkal is sorozatosan találkozunk. Így a tanulságok levonása helyett a diákokban csak a nehézség és a gondok tudatosulnak.

Fentiek megoldására a gravitációs erővel való számítások elvégzésére a Microsoft Excel programot használjuk. Ennek előnye, hogy a normálalakból való számításból adódó hibák esélyét csökkentve a munkát a

A1					
					Bolygó
	A	B	C	D	E
1	Bolygó	Bolygó sugara (km)	Bolygó sugara (m)	Bolygó tömege (kg)	
2	Merkúr	2439 km	2439000 m	3,30E+23 kg	
3	Vénusz	6052 km	6052000 m	4,87E+24 kg	
4	Föld	6378 km	6378000 m	5,97E+24 kg	
5	Mars	3394 km	3394000 m	6,42E+23 kg	
6	Jupiter	71492 km	71492000 m	1,90E+27 kg	
7	Szaturnusz	60268 km	60268000 m	1,68E+26 kg	
8	Uránusz	25559 km	25559000 m	8,68E+25 kg	
9	Neptunusz	24764 km	24764000 m	1,02E+26 kg	
10					
11					
12					
13	Gravitációs állandó:	6,67E-11 N·m ² /kg ²			
14					
15	Próbatest tömege:	60 kg			

1. ábra. A készülő táblázat a szükséges adatokkal.

számítógép elvégzi helyettünk, valamint hogy egymáshoz hasonló problémák/feladatok során a sorozatszámítások egyszerűvé válnak.

Oldjuk meg a következő két konkrét feladatot!

1. Ellenőrizzük, miként változik a Föld által kifejtett gravitációs erő a Földtől való távolodás során! Számítsuk ki, hogy mekkora a Föld tömegvonzásából adódó gravitációs gyorsulás értéke

- a Föld felszínén;
- az űrhajók keringési pályájának magasságában;
- a Hold távolságában!

2. Csak a Star Wars filmekben igaz (sok más furcsaság mellett), hogy minden bolygón ugyanakkora gravitációs erő hat a szereplőkre. Képzeljük el, hogy egy kirándulás keretében végiglátogatjuk a Naprendszer bolygóit! Számítsuk ki, mekkora a bolygók felszínén a gravitációs gyorsulás értéke, és oda érkezve mekkora súlyúnak éreznénk magunkat! Adjuk meg ezt az értéket a Föld felszínén mért súlyunkhoz képest! (A bolygók tengely körüli forgásából adódó centrifugális erő-től tekintsünk el!)

A számításokat mindegyik esetben Microsoft Excel programmal végezzük, a szükséges adatokat keressük meg az interneten!

A megoldás lépései:

1. A gravitációs erőtvörvény:

$$F_{grav} = \gamma \frac{mM}{r^2},$$

ahol: F_{grav} a két test között fellépő gravitációs erő nagysága, γ a gravitációs állandó, m és M a két test tömege, r pedig a testek tömegközéppontja közti távolság. A fenti feladatok megoldására alkalmazva M a bolygó tömege, m egy „próbatest” (=ember) tömege, például 60 kg, r pedig a bolygó sugara (jelölése: R_b).

A képletből a g gravitációs gyorsulás értéke a felszíntől mért h magasság függvényében:

$$g = \gamma \frac{M}{(R_b + h)^2},$$

2. Tehát mindkét feladat elvégzéséhez szükséges összegyűjteni a Naprendszer bolygóinak tömegét és sugarát.

A következőkben egy módszert javasolunk a táblázat megszerkesztéséhez (1. ábra). A mértékegységeket célszerű a táblázat fejlécében jelezni, de informatikában jártasabb diákok a cellaformátum megadásával minden egyes adatot elláthatnak mértékegységgel. Hívjuk fel tanulóink figyelmét arra, hogy az Excel milyen formában jelöli a normálalakot!

3. A bolygók felszínén érvényes gravitációs gyorsulás kiszámítását a következő oszlopban (E oszlop) tehetjük meg. A számítás elvégzése tulajdonképpen megegyezik a gravitációs gyorsulás fenti képletébe való behelyettesítéssel, csak a mennyiségek jele helyett a megfelelő cellahivatkozást kell beírni. Például a Merkúr esetén: „=(\$B\$13*D2)/(C2*C2)”.

Megjegyzés: a B13 cellára (azaz a gravitációs állandóra) való hivatkozást érdemes rögzíteni,¹ hiszen az minden bolygóra ugyanazon érték.

4. A többi bolygó felszínén érvényes gravitációs gyorsulás kiszámításához nem kell mást tennünk, mint az E2 cellát kijelölve a keret jobb alsó sarkát lefelé húzva a képlettel kitölteni az alatta levő cellákat. Így az összes többi adatot egy mozdulattal megkapjuk!

5. A próbatest súlyának kiszámítása az F oszlopban történik, hasonló módon. Az F2 cellába írjuk: „=E2*\$B\$15”, majd lehúzással töltsük ki az alatta levő cellákat.

6. Ahhoz, hogy ezt az értéket a Föld felszínén mért értékhez tudjuk viszonyítani, a G oszlopban ezeket az értékeket osszuk el az F4 cellában lévő értékkel! A G2 cellába tehát írjuk: „=F2/\$F\$4”, majd lehúzással töltsük ki az alatta levő cellákat.

Érdemes megbeszélni a diákokkal, hogy mit fejeznek ki a kapott arányszámok, ezt hogyan lehet elképzelni, érzékelhetővé tenni. A megbeszélés során mindenképpen tudatosítsuk a tanulóknak, hogy a bolygók felszínén az eltérő súly az eltérő gravitációs gyorsulásból adódik, a tömegünk végig állandó!

7. A Föld felszínétől való távolság vizsgálatához a ki kell bővíteni táblázatot (2. ábra). A J4 cellába a fenti képlet alapján: „=(B13*D4)/((C4+I4)*(C4+I4))” kerüljön.

Az így elkészített táblázatban, ha a felszíntől mért magasságra a H4 cellába tetszőleges értékeket írunk be, a J4 cella értéke annak megfelelően, azonnal, dinamikus frissül. Így könnyen és gyorsan tudjuk szemléltetni, hogy az űrhajósok magasságában (körülbelül 200 km) a gravitációs gyorsulás értéke a földfelszíni értékhez képest alig csökken (9,20 m/s²-re). Kipróbálható, hogy a gravitációs erő erőtvörvénye szerint a bolygó középpontjától mért kétszeres távolság,

¹ Ezt a szerkesztőlécen a „B13” kifejezést kijelölve F4 billentyű egyszeri lenyomásával tehetjük meg.

F2	:			f_x	=I2+L2/2									
1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
2		C	1	H	4	+	2	O ₂	=	1	CO ₂	+	2	H ₂ O
3														
4		C	2	H	6	+	3,5	O ₂	=	2	CO ₂	+	3	H ₂ O
5														

3. ábra. Alkánok égési reakcióegyenlete Excellel rendezve.

ges alkán képletét és égésének egyenletét megadja a program (3. ábra).

2. Az égéshők kiszámításhoz az alábbi adatok szükségesek:

- szén-dioxid képződéshője: $\Delta_f H(\text{CO}_2(\text{g}))$;
- vízgőz képződéshője: $\Delta_f H(\text{H}_2\text{O}(\text{g}))$;
- az adott alkánok képződéshője: $\Delta_f H(\text{C}_n\text{H}_{2n+2})$.

Ezen adatokat a függvénytáblázatból, egyéb termodinamikai táblázatokról, vagy az internetről lehet összegyűjteni. Az oxigén képződéshője, mivel elem, definíció szerint nulla.

Ezen adatokat célszerű az egyenletektől sokkal jobbra lévő cellákba írni, és egy kis adattáblázatot létrehozni (4. ábra).

3. Az égéshő kiszámításához a reakcióegyenlet mellett, a következő cellába jobbra kell a képletet beírni. A számítás elve természetesen megegyezik a papíron történő számításával, csak itt a megfelelő adatokat tartalmazó cellákra való hivatkozásokat kell a képletbe írni.

Az adott szénatomszámú alkán képletét FKERES függvénnyel tudjuk kikerestetni a táblázatból. Ennek egyszerűvé tételéhez a képződéshőket tartalmazó kis táblázat első oszlopába írjuk be az alkán szénatomszámát, hogy a keresés ennek alapján valósuljon meg. A képletben a CO₂ és a H₂O képződéshőjét tar-

AA	AB	AC	AD
	Képződéshők		
	$\Delta_f H(\text{CO}_2)$	=	-394 kJ/mol
	$\Delta_f H(\text{H}_2\text{O}(\text{g}))$	=	-242 kJ/mol
1	$\Delta_f H(\text{CH}_4)$	=	-74,9 kJ/mol
2	$\Delta_f H(\text{C}_2\text{H}_6)$	=	-84,6 kJ/mol
3	$\Delta_f H(\text{C}_3\text{H}_8)$	=	-104,0 kJ/mol
4	$\Delta_f H(\text{C}_4\text{H}_{10})$	=	-124,0 kJ/mol
5	$\Delta_f H(\text{C}_5\text{H}_{12})$	=	-146,4 kJ/mol
6	$\Delta_f H(\text{C}_6\text{H}_{14})$	=	-198,7 kJ/mol
7	$\Delta_f H(\text{C}_7\text{H}_{16})$	=	-224,4 kJ/mol
8	$\Delta_f H(\text{C}_8\text{H}_{18})$	=	-249,9 kJ/mol
9	$\Delta_f H(\text{C}_9\text{H}_{20})$	=	-274,7 kJ/mol
10	$\Delta_f H(\text{C}_{10}\text{H}_{22})$	=	-300,0 kJ/mol

4. ábra. Adattáblázat a képződéshőkkel.

talmazó cellát, valamint az FKERES függvény tartományát célszerű rögzíteni, hogy lehetővé tegyük a képlet másolását. Így az égéshőt kiszámító képlet: „=I2*\$AD\$2+L2*\$AD\$3-FKERES(B2;\$AA\$5:\$AD\$14;4)”, lásd az 5. ábrát.

4. Az alkánok moláris tömege a képletükből számítható, figyelembe véve, hogy a szén relatív atomtömege kerekítve 12, a hidrogéné 1. A hivatkozást itt is a szén-, illetve a hidrogénatom indexére kell megtenni. A beírandó képlet: „=B2*12+D2”.

5. Végül, a fajlagos égéshő kiszámításához nem kell mást tennünk, mint egy következő oszlopban a moláris égéshő (egy mol alkán égését kísérő energia-változás) értékét el kell osztanunk az alkán moláris tömegével (egy mol alkán tömege).

6. Az összehasonlítás megtételéhez mind a tíz alkán esetén el kéne végezni a fenti műveleteket, amit papíron való számítás esetén ténylegesen el kell végezni.

5. ábra. A kész táblázat képernyőképe.

Q2	:			f_x	=I2*\$AD\$2+L2*\$AD\$3-FKERES(B2;\$AA\$5:\$AD\$14;4)																									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD
1																	Moláris égéshő		Moláris tömeg				Fajlagos égéshő							Képződéshők
2	C	1	H	4	+	2 O ₂	=	1 CO ₂	+	2 H ₂ O							Δ _r H = -803,1 kJ/mol	M = 16,0 g/mol					Q _{fajlagos} = -50,19 kJ/g					Δ _r H(CO ₂) = -394 kJ/mol		
3																													Δ _r H(H ₂ O(g)) = -242 kJ/mol	
4	C	2	H	6	+	3,5 O ₂	=	2 CO ₂	+	3 H ₂ O							Δ _r H = -1429,4 kJ/mol	M = 30,0 g/mol					Q _{fajlagos} = -47,65 kJ/g							
5																												1	Δ _r H(CH ₄) = -74,9 kJ/mol	
6	C	3	H	8	+	5 O ₂	=	3 CO ₂	+	4 H ₂ O							Δ _r H = -2046,0 kJ/mol	M = 44,0 g/mol					Q _{fajlagos} = -46,50 kJ/g					2	Δ _r H(C ₂ H ₆) = -84,6 kJ/mol	
7																												3	Δ _r H(C ₃ H ₈) = -104,0 kJ/mol	
8	C	4	H	10	+	6,5 O ₂	=	4 CO ₂	+	5 H ₂ O							Δ _r H = -2662,0 kJ/mol	M = 58,0 g/mol					Q _{fajlagos} = -45,90 kJ/g					4	Δ _r H(C ₄ H ₁₀) = -124,0 kJ/mol	
9																												5	Δ _r H(C ₅ H ₁₂) = -146,4 kJ/mol	
10	C	5	H	12	+	8 O ₂	=	5 CO ₂	+	6 H ₂ O							Δ _r H = -3275,6 kJ/mol	M = 72,0 g/mol					Q _{fajlagos} = -45,49 kJ/g					6	Δ _r H(C ₆ H ₁₄) = -198,7 kJ/mol	
11																												7	Δ _r H(C ₇ H ₁₆) = -224,4 kJ/mol	
12	C	6	H	14	+	9,5 O ₂	=	6 CO ₂	+	7 H ₂ O							Δ _r H = -3859,3 kJ/mol	M = 86,0 g/mol					Q _{fajlagos} = -44,88 kJ/g					8	Δ _r H(C ₈ H ₁₈) = -249,9 kJ/mol	
13																												9	Δ _r H(C ₉ H ₂₀) = -274,7 kJ/mol	
14	C	7	H	16	+	11 O ₂	=	7 CO ₂	+	8 H ₂ O							Δ _r H = -4469,6 kJ/mol	M = 100,0 g/mol					Q _{fajlagos} = -44,70 kJ/g					10	Δ _r H(C ₁₀ H ₂₂) = -300,0 kJ/mol	
15																														
16	C	8	H	18	+	12,5 O ₂	=	8 CO ₂	+	9 H ₂ O							Δ _r H = -5080,1 kJ/mol	M = 114,0 g/mol					Q _{fajlagos} = -44,56 kJ/g							
17																														
18	C	9	H	20	+	14 O ₂	=	9 CO ₂	+	10 H ₂ O							Δ _r H = -5691,3 kJ/mol	M = 128,0 g/mol					Q _{fajlagos} = -44,46 kJ/g							
19																														
20	C	10	H	22	+	15,5 O ₂	=	10 CO ₂	+	11 H ₂ O							Δ _r H = -6302,0 kJ/mol	M = 142,0 g/mol					Q _{fajlagos} = -44,38 kJ/g							

Az Excel használatának előnyei itt mutatkoznak meg: csupán a metánra vonatkozó sort kell egymás alá lemásolnunk – tetszőleges (célszerűen tíz) példányban –, és a szénatomszám indexét átírni. (Az Excel lehúzással ráadásul ezt is megteszi helyettünk.) Így néhány kattintással azonnal rendelkezésünkre állnak a szükséges adatok. A végső táblázatot az 5. ábra mutatja.

7. Úgy járunk el korrekt módom, ha feltüntetjük a mennyiségek jelét és mértékegységét is (ez egyben átláthatóbbá, esztétikusabbá is teszi a táblázatot). Előbbieket érdemes külön cellában a számított vagy beírt mennyiség elé írni, mögé pedig egyenlőségjelet, utóbbi pedig cellaformázással megoldani. Ezen műveleteket folyamatosan érdemes végezni, illetve – a biztonság kedvéért – fejléccel is elláthatjuk a táblázatot.

8. A kapott táblázatból azonnal megállapítható, hogy egységnyi tömegű anyag elégetése során a metán esetében szabadul fel a legnagyobb energia. Így tehát a metános palackot érdemes megvásárolnunk.³

Az eredmények értelmezése

Az eredményekből észrevehető, hogy a fajlagos égéshő abszolút értéke a szénatomszám növekedésével enyhén, ráadásul egyre kisebb mértékben csökken. Ez egyszerre két állítás, amelyeket érdemes megvitatni diákjainkkal. A megbeszélés során néhány szempont mindenképpen kerüljön elő:

- A tapasztalt tendencia hasonló ahhoz, mint amit az alkánok olvadás- és forráspontjáról megállapíthattunk: azok az értékek a szénatomszám növekedésével egyre növekednek, de egyre kisebb mértékben. A metilén-csoport ($-\text{CH}_2-$ csoport) „beépülése” okozza a növekedést, de a teljes molekulamérethez képest ez egyre kisebb arányú növekményt jelent.

- A szénatomszám növekedésével arányosan növekszik a keletkező CO_2 és H_2O mennyisége, így a moláris reakcióhőben ezek mindig azonos változást jelentenek. A fajlagos égéshőben való eltérést tehát az alkánok képződéshője okozza, amelynek abszolút értéke a szénatomszám emelkedésével növekszik, de nem egyenes arányban, hanem egyre kisebb mértékben. Ennek megértéséhez további magyarázatra van szükség. A következőket mondhatjuk:

- A szénatomszám növekedésével a vegyületek relatív hidrogéntartalma csökken.

- A fenti két állítást figyelembe véve adódik a magyarázat: a szénatomszám növekedésével változik a szén–szén és a szén–hidrogén kötések egymáshoz viszonyított mennyisége, valamint a termékekben a szén–oxigén és az oxigén–hidrogén kötések egymáshoz viszonyított mennyisége is. Ez a változás a kötési energiák egymáshoz viszonyított összértékében eltérést okoz. A kötési energiák értékei ugyanis: C–C: 348 kJ/mol, C–H: 412 kJ/mol, C=O: 799 kJ/mol, O–H: 463 kJ/mol.

- Megállapítható, hogy egy C–H kötés felszakadásából és az O–H kötés, valamint a C=O kötés kialakulásából

összességében több energia szabadul fel, mint a C–C kötés felszakadásából és a C=O kötések kialakulásából. Így a csökkenő relatív hidrogéntartalom miatt az alkánok égéshőjének abszolút értéke csökken. A relatív hidrogéntartalom csökkenése egyre kisebb mértékű, ezért az égéshő is egyre kisebb mértékben csökken.

- Fenti állítást alátámasztandó érdemes az égéshőket a kötési energiák alapján is kiszámítani, természetesen szintén Excel segítségével. Ez a feladat a fenti módszer órai, közös végigbeszélése után akár házi feladatként is feladható.

Összegzés

Tapasztalatom szerint a Microsoft Excel program jól alkalmazható segítség a természettudományos oktatásban abban az esetben, ha a számítások elvégzése valamilyen okból nehézséget jelentene a diákoknak, de a számítások eredményére mégis feltétlenül szükségünk van. A módszer ezen felül – bizonyos esetekben – nagy mértékben megkönnyíti a tanári munkát is. A diákok motivációját is növeli, mert szívesen foglalkoznak számítógéppel elvégezhető feladatokkal.

A módszer használatának csak a fantázia szab határt, a cikk elején felsorolt témák csak néhány kiragadott példát jelentenek. A fizikai és a kémiai számítások minden területén találunk olyan feladat típusokat, amelyekhez készülhet algoritmus, így elvégzésükhöz az Excel segítsége igénybe vehető. Tanári mérlegelést igényel, hogy pedagógiaiilag mely esetekben indokolt ez a módszer, de a megfelelő alkalommal mindenképpen érdemes alkalmazni.

A gravitációs erőtvénnyel kapcsolatos feladatot az ELTE Trefort Ágoston Gyakorló Gimnázium 9.b osztályos diákjai páros munkában a 2017. évi digitális témahét keretében nagy lelkesedéssel végezték el. Az informatikateremben tartott tanórán a módszer alapjait előzetesen megbeszéltük, majd a továbbiakban ők önállóan oldották meg a feladatot. A munka befejezésére otthon volt lehetőségük, az elkészített táblázatot tartalmazó file-t e-mailben küldték el nekem. A tapasztalatok megbeszélését, az eredmények értelmezését és a beadott táblázatok értékelését a következő tanórán tettük meg.

A diákok visszajelzéseit kérdőív segítségével gyűjtöttem össze. Ezekből megállapítható, hogy legtöbbször szívesen fogadta ezt a szokatlan feladat típust, és örült, hogy a megszokottól eltérő módon foglalkozhat fizikával. Ugyanakkor többen megemlítették, hogy a feladatmegoldás gördülékenyebb lett volna, ha előtte átismételték volna az Excel alapvető funkcióit és függvényeit. Örömteli, hogy a feladatot elvégző diákok közül sokan válaszolták, hogy a jövőben önállóan is szívesen használnák a módszert.

Irodalom

<http://www.physicsthisweek.com/microsoft-excel-in-physics/>
<http://mmsphyschem.com/excelPhys1.htm>
<http://www.excelunusual.com/category/excel-physics/>

³ Persze, ha lehetséges volna (lásd korábban). A létező palackok közül a propánnal telít érdemes megvásárolni.

A KISGYERMEKKORI TERMÉSZETTUDOMÁNYOS NEVELÉS ITTHON ÉS KÜLFÖLDÖN – HELYZETKÉP

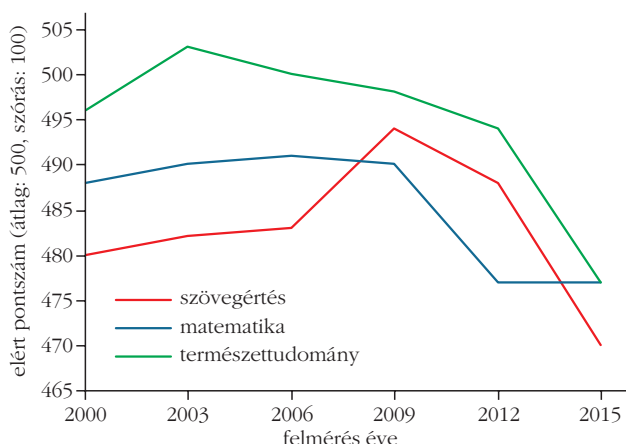
Papp Katalin, Flach Fanni – Szegedi Tudományegyetem
Molnár Milán – Mobilisz Interaktív Kiállítási Központ, Győr

Mottó: az adat a legértékesebb valuta a 21. században...

2016 végén hozták nyilvánosságra a legutóbbi PISA (Programme for International Student Assessment – Nemzetközi Tanulói Teljesítménymérés Program, OECD szervezés) vizsgálatok eredményeit. A 15 évesek körében történt felmérés természettudományos részét (a vizsgált további tartalmi terület olvasás, szövegértés és matematika volt, *1. ábra*) a szakmai és bulvársajtó egyaránt elemezte. A magyar tanulók a nemzetközi átlagnál alacsonyabb, a korábbiakhoz képest romló teljesítményét széles körű média- és társadalmi érdeklődés követte [1].

A „nagyközönség” számára talán kevésbé ismertek a nagyobb hagyománnyal rendelkező IEA (International Association for the Evaluation of Educational Achievement – Oktatási Teljesítmények Értékelésére Alakult Nemzetközi Társaság) által szervezett vizsgálatok.

A természettudományos tudást mérő első felmérésorozat az IEA az 1970-es évek elején szervezte (FISS: First International Science Study), amelyben a magyar tanulók is részt vettek, majd megismétlődött a nyolcvanas években (SISS: Second International Science Study), lehetővé téve a változások megfigyelését is. A felmérést azóta négyévenként elvégezték, 1995-től TIMSS (Trends in International Mathematics and Sci-



1. ábra. A magyarországi szövegértés, matematika és természettudományos eredmények a 2000–2015-ös PISA-vizsgálatok alapján [2].

ence Study) néven, ami a trendekkel és a következőkkel kapcsolatban felmerült további kérdések megválaszolását tette lehetővé [3].

A TIMSS-vizsgálatok célja nemzetközi összehasonlító felmérések szervezése a tanulók matematika és természettudományos ismereteiről, a tantárgyak tanulói megítéléséről. A felmérés a trendek követése mellett figyelemmel kíséri a tantervek megvalósulását, valamint keresi az adott időszakban legsikeresebbnek, leghatékonyabbnak mutatózó oktatási gyakorlatokat. A mérésorozat jelenleg négyéves ciklusokban vizsgálja *4. és 8. évfolyam* végén a diákok matematikai és természettudományos tudását (*2. ábra*), figyelembe véve a különböző országok tantervei közötti különbségeket.

Az IEA-vizsgálatokban fiatalok százazreinek tudás-szintjét mérik öt kontinens sok-sok országából. Szakértők úgy tekintik az IEA felméréseit, mint a különböző országok oktatási rendszereinek teljesítmény-összehasonlításában legfontosabb és legrészletesebb adatanyagot. A felmérések volumenéből adódóan ha-

A tanulmány az MTA-SZTE Természettudomány Tanítása Kutatócsoport keretében készült.



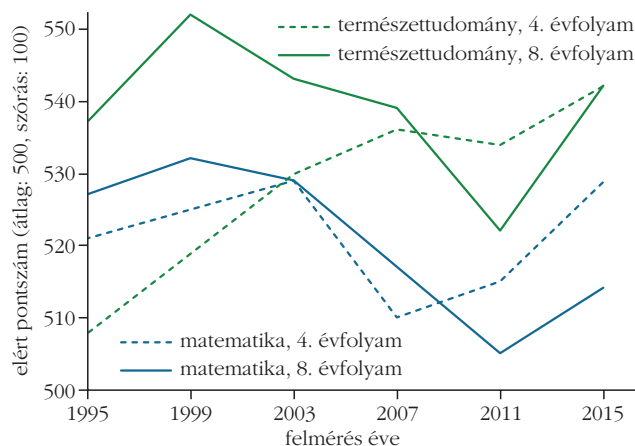
Papp Katalin a Szegedi Tudományegyetem címzetes egyetemi tanára, a neveléstudomány kandidátusa. Kémia-fizika szakos középiskolai tanárként végzett a József Attila Tudományegyetemen. 1971–2010 az SZTE Kísérleti Fizikai Tanszékén dolgozott. Kezdetben a lézer-szilárdtest kölcsönhatással, majd tantárgy-pedagógiai kutatásokkal foglalkozott, közleményeinek száma több mint 100. Jelenleg a kisgyermekek természettudományos nevelésének kérdéseit kutatja, eredményeit a napi gyakorlatban is alkalmazza.



Flach Fanni Paula a Szegedi Tudományegyetem másodéves mesterszakos hallgatója, fizikatanár-pedagógiatanár szakpáron. 2018 februárja óta a Makói József Attila Gimnáziumban tanít.



Molnár Milán fizika-biológia szakos tanár 2010-ben végzett a Szegedi Tudományegyetemen. 2010 óta foglalkozik kisiskoláskori természettudományos neveléssel. 2012-től a Szent-Györgyi Albert Agóra Látványlaboratóriumának kialakítását és bemutatását végezte 2015-ig. 2015 óta a győri Mobilis Interaktív Kiállítási Központ vezető demonstrátora, a „Természettudományos élménypedagógiai programok fejlesztése Győrben és térségében a GYEKE és a Mobilis együttműködésében” program szakmai vezetője.



2. ábra. TIMSS-felmérések eredményei Magyarországon 1995 és 2015 között matematikából és természettudományból a 4. és 8. évfolyamos diákok között [2].

talmas adathalmaz áll rendelkezésre, a következtetéseket is tartalmazó kiadványok több kötetnyit tesznek ki [4–7].

A tanulók és tanáraik, valamint a felmérésben résztvevő iskolák igazgatói a mérés során még úgynevezett háttérkérdőíveket is kitöltenek. Ezekben – többek között – a diákok családi és iskolai körülményeire, tanulási szokásaira, tantárgyakhoz fűződő viszonyára, a tanári munka szakmai vonatkozásaira, valamint az iskolai-tanulási klímára vonatkozó kérdések szerepeltek.

A tudást mérő teszten összesen elérhető pontszám úgy van meghatározva, hogy az átlag 500 és szórása 100 pont legyen. Az eredmények könnyebb értelmezése és összehasonlíthatósága érdekében a skálán belül képességszinteket jelöltek ki. A képességszintek kialakítását és leírását a feladatok nehézségének és megoldhatóságának részletes elemzése előzte meg. A TIMSS mindkét évfolyam (4. és 8.) esetében négy képességszintet határozott meg: megkülönböztették a *kiváló tudást* 625 képességszint felett, a *magas szintű tudást* 550–625 pont között, az *átlagos szintű tudást* 475–550 között és az *alacsony szintű tudást* 400–475 pont között. A legutóbbi, 2015 évi vizsgálat eredményeiről a <http://timss2015.org> címen olvashatunk [4].

Tanulói teljesítmények természettudományból a TIMSS 2015 vizsgálat alapján

Az 1. táblázatból jól látható, hogy a 2015-ös vizsgálatban 4. és 8. évfolyamon is kiemelkedően teljesített Szingapúr, és remekül szerepeltek a távol-keleti és délkelet-ázsiai országok. Negyedik évfolyamon még a legjobbak közé tartozik Oroszország és Finnország, nyolcadik évfolyamon pedig Oroszország és Szlovénia. A magyar diákok mindkét évfolyamon a nemzetközi átlagnál jobb eredményt értek el, és olyan országokkal azonos szinten teljesítettek, mint Anglia és az Egyesült Államok. Negyedik évfolyamos diákjaink eredménye az elmúlt mérési ciklusok alatt javult, a 2015-ös mérés alapján pedig a legjobb négy európai

1. táblázat

TIMSS 2015 vizsgálat: természettudományos teljesítmény megoszlása a 4. és 8. évfolyamon, fiú-lány különbségek (részlet)

ország	eredmény	nemek közötti különbség
4. évfolyam		
Szingapúr	590	n. k.
Koreai Köztársaság	589	11 ♂
Japán	569	n. k.
Hongkong	557	10 ♂
Finnország	554	12 ♀
Egyesült Államok	546	4 ♂
Magyarország	542	8 ♂
Anglia	536	n. k.
Bahrein	459	39 ♀
Szaúd-Arábia	390	79 ♀
nemzetközi átlag	500	n. k.
8. évfolyam		
Szingapúr	597	n. k.
Japán	571	n. k.
Tajvan	569	n. k.
Hongkong	546	10 ♂
Anglia	537	n. k.
Egyesült Államok	530	5 ♂
Magyarország	527	17 ♂
Bahrein	466	50 ♀
Szaúd-Arábia	396	55 ♀
nemzetközi átlag	500	n. k.

- 0: a jelölt országok eredménye nem különbözik szignifikánsan a magyar eredménytől
n. k.: nincs szignifikáns különbség a lányok és fiúk eredménye között az adott országban
♀: lányok javára van különbség
♂: fiúk javára van különbség

ország között szerepeltünk. A nyolcadik évfolyam magyar tanulói a vizsgálat kezdeteihez képest visszastegtek: 1999-ben 552 ponttal még a legjobbak között voltunk, 2015-ben pedig 527 pontot szereztünk.

A lányok és fiúk tudása között nemzetközi szinten nincs szignifikáns különbség, azonban az egyes országokon belüli eredmények nagy eltéréseket mutatnak. A közel-keleti és észak-afrikai országokban a lányok teljesítménye szembetűnően magasabb, 55 és 79 pontos különbségekkel Szaúd-Arábiában a legjelentősebb. Azonban azok az országok vannak többségben, ahol az eltérés a fiúk többletpontjaiban mutatkozik meg. A jól teljesítő országok közül Hongkongban, az Egyesült Államokban és Magyarországon mindkét évfolyamon a fiúk eredménye jobb. A legtöbb országban a negyedik évfolyamhoz képest a nyolcadikon már kisebbek a különbségek, azonban

Magyarországon éppen fordított a helyzet. Országunkban az eddigi ciklusok során is magasabb volt a fiúk eredménye, a 2015-ös mérésben mutatott 17 pontos eltérés pedig a részt vevő országok között a legnagyobb.

A TIMSS – a különböző országok tantervei közötti különbségeket figyelembe véve – méréseiben három tartalmi területtel fedi le a 4. évfolyamon a mérni kívánt témaköröket: *élő világ*, *fizikai világ*, *földtudomány*. A 8. évfolyamon négy tartalmi terület alkotja a mérés anyagát: *biológia*, *kémia*, *fizika*, *földtudomány*. A 2. táblázat az egyes tartalmi területeken nyújtott magyar teljesítményeket mutatja. A 4. évfolyamos magyar tanulók az élővilág területen kiemelkedőbben, míg a fizikai világ és a földtudomány területeken az összesített 542 ponthoz képest szignifikánsan rosszabbul teljesítettek. A 8. évfolyamon az 527 pontos természettudományos eredményhez képest kémiából szignifikánsan jobban teljesítettek, fizikából nem tapasztalható szignifikáns eltérés, földtudományból szignifikánsan rosszabbul szerepeltek, és meglepő módon a negyedikes eredményekkel ellentétben biológiából is szignifikánsan rosszabb eredményt értek el [5, 6].

A fiúk és a lányok közötti különbségeket az egyes tartalmi területekre lebontva is érdemes megnézni, ami szintén látható a 2. táblázatban. Negyedik évfolyamon mindhárom területen, nyolcadik évfolyamon pedig fizika és földtudomány területeken teljesítettek jobban a fiúk. Az eredmények egyértelműen tükrözik azt a magyar nézetet, amely szerint a természettudományok, és főként a fizika „fiús” tárgyak.

Példafeladatok a fizika és kémia tartalmi területeiről [5]

A tudásszintmérő tesztek készítői a feladatok megoldásához szükséges kognitív műveleteket három nagy csoportba sorolták: *ismeret*, *alkalmazás*, *értelmezés*. A mérések során alkalmazott feladatok egy részét hozzáférhetővé tették, más részüket nem, ezeket a mérés ciklusok során több ízben felhasználták (úgynevezett láncfeladatok). A következőkben a 2015-ben nyilvánossá tett feladatok közül válogatunk. A vizsgálatban szereplő feladatok közül néhány példa fizikából remekül szemlélteti az ismeretek alkalmazásának megkövetelését. A 4. évfolyamosok feladatai közül a fizikai világ tartalmi területről különböző nehézségűeket mutatunk be, emellett pedig a 8. évfolyamosok fizika és kémia tartalmi területeiről is prezentálunk egy-egy feladatot.

1. feladat (4. osztály, képességszint: alacsony, kognitív terület: ismeret)

A víz szilárd, folyadék és légnemű halmazállapotban fordul elő. Az alábbiak közül melyik a szilárd?

Válaszlehetőségek: A) gőz, **B) jégkocka**, C) felhő, D) esőcsepp

2. táblázat

**TIMSS 2015 vizsgálat magyar eredményei:
tartalmi területek és nemek szerinti eltérések
a 4. és 8. évfolyamon**

4. évfolyam				
természet- tudományos teljesítmény	élő világ (45%)	fizikai világ (35%)	földtudomány (20%)	
542	550 ↑♂	534 ↓♂	535 ↓♂	

8. évfolyam				
természet- tudományos teljesítmény	biológia (35%)	kémia (20%)	fizika (25%)	föld- tudomány (20%)
527	521 ↓	534 ↑	531 ♂	521 ↓♂

ℳ: az egyes tartalmi területek súlya a teljes természettudományos teljesítményben

↑/↓: a tartalmi terület pontszáma a természettudományos átlagpontoszámhoz viszonyítva szignifikánsan magasabb/alacsonyabb

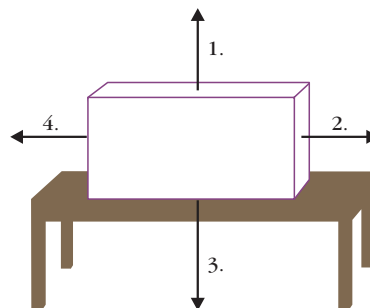
♂: az adott tartalmi területen a fiúk szignifikánsan magasabb eredményt értek el

Az 1. feladatra a magyar tanulók 82%-a adott jó választ, ezzel szignifikánsan jobban teljesítettek a 76%-os nemzetközi átlagnál. A 90% felett teljesítő országok a Koreai Köztársaság, Hongkong, Szerbia, Litvánia, Bulgária és Szlovénia. A víz halmazállapotainak ismeretében hiány tapasztalható Norvégiában, Hollandiában és Belgiumban, ahol a teljesítés 50% alatti.

2. feladat (4. osztály, képességszint: átlagos, kognitív terület: alkalmazás)

A rajz egy asztalon nyugvó téglatestet ábrázol. Melyik nyíl mutatja rajta a Föld gravitációs erejének irányát?

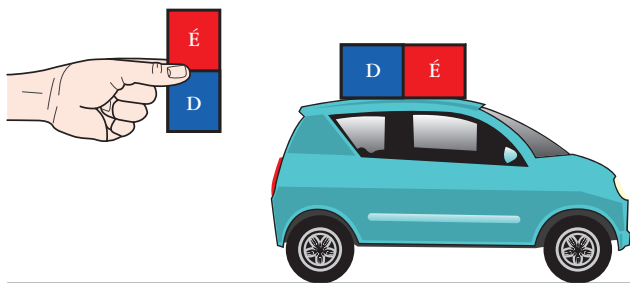
Válaszlehetőségek: A) 1, B) 2, **C) 3**, D) 4



A feladatot a magyar diákok az átlagnál jóval gyengébben teljesítették, mindössze 64%-uk tudott helyes választ adni, így a 10 leggyengébben teljesítő ország között vagyunk. Oroszországban a diákok 95%-a oldotta meg jól a feladatot, ezzel egyedül szerepelnek 90%-os megoldottság felett.

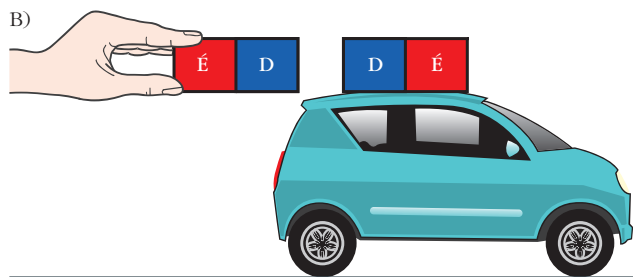
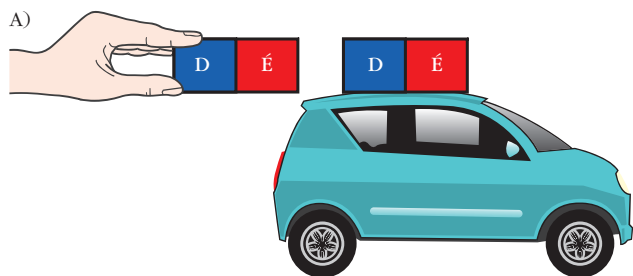
3. feladat (4. osztály, képességszint: kiváló, kognitív terület: alkalmazás)

Egy műanyag játékautó tetejére egy mágneset ragasztottak. Sári egy másik mágnes segítségével akarja el-



tolni a kisautót. Hogyan kell tartania a mágneset, hogy eltolhassa vele a kisautót?

Indokold meg válaszodat!



Válaszlehetőségek: **A)** vagy **B)**

Indoklás: két déli pólus taszítja egymást.

A 3. feladat egy nehezebb feladat, így az átlagos megoldottság is alacsonyabb az előző feladatoknál, csupán 30%. A kérdésre a magyar tanulók 34%-a válaszolt helyesen, ezzel éppen jobban teljesítettünk az átlagnál. A legkiválóbb, 50%-os megoldottság fölötti eredményeket olyan távol-keleti országok érték el, mint Szingapúr, Japán, Koreai Köztársaság és Tajvan. Marokkóban csupán a diákok 2%-a tudta megoldani a feladatot, emellett Kuvaitban és Franciaországban is csak 10% alatti a megoldottság.

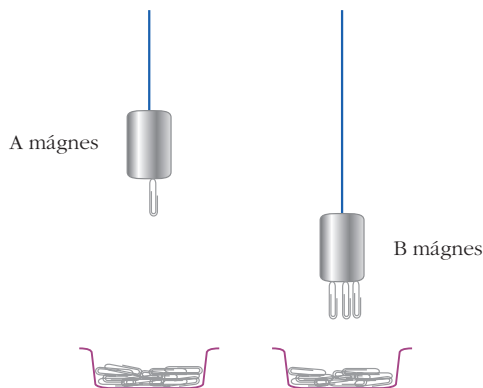
4. feladat (8. osztály, képességszint: magas, kognitív terület: értelmezés)

Két mágneset, A-t és B-t, közelítik tálcákban lévő fém iratkapszokhoz, és egy adott távolságban megállítják őket. Tina mérlegeli a látottakat, és arra a következtetésre jut, hogy a B mágnes erősebb az A mágnesnél. Egyetértés-e Tina következtetésével? Indokold meg a válaszodat!

Válaszlehetőségek: A) igen, B) **nem**

Indoklás: a mágnesek nem ugyanolyan távolságra vannak az iratkapszoktól.

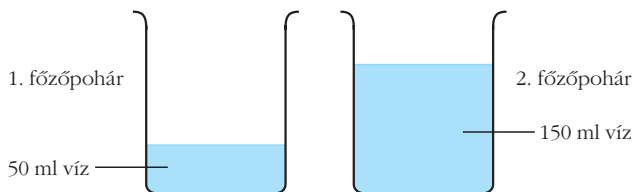
A magyar nyolcadikos tanulók fele tudta megoldani ezt a magas képességszintű feladatot, ezzel átlagos teljesítményt nyújtottunk. Itt is főleg a távol-keleti



országok – Szingapúr, Tajvan, beékelődve Szlovénia, Hongkong – járnak élen.

5. feladat (kémia, 8. osztály, képességszint: magas, kognitív terület: alkalmazás)

Dávid elővett két főzőpoharat, és mindkettőbe 20 g cukrot tett. Az 1. főzőpohárba 50 ml vizet, a 2. főzőpohárba 150 ml vizet öntött, ahogy az a képeken látható. Melyik oldat a hígabb? Indokold meg a válaszodat!



Válaszlehetőségek: A) az 1. főzőpohárban lévő oldat, B) a **2. főzőpohárban** lévő oldat

Indoklás: több víz és ugyanannyi cukor van a 2. főzőpohárban.

Ebben a feladatban a magyar diákok kitűnően teljesítettek, a 48%-os nemzetközi átlaghoz képest a diákok 69%-a válaszolt helyesen, vagyis az oldatok koncentrációjának fogalmát értik, és jól tudják alkalmazni a gyakorlatban. A távol-keleti országok közül csak Japán és Tajvan szerepelt eredményesebben, az európai országok közül pedig Szlovénia és Svédország. A leggyengébb, 30% alatti megoldottságot Kuvait, Egyiptom és Marokkó országoknál láthatjuk.



Az egyes országok feladatonkénti teljesítményében erős kiugrások tapasztalhatók, amelynek számos oka közül néhányat megemlítünk. 1) Az országok tantervében a felmérés idején még nem szerepelt az adott kérdéskör, így a diákok nem tudták megfelelően értelmezni a feladatot. Fordított esetben lehet, hogy éppen nemrég tárgyalták a témát, friss emlékeik vannak róla, ezért jobban teljesítenek. 2) Bizonyos tankönyvekben található olyan feladat, amely egy TIMSS-példához nagyon hasonló, ezért már részletesen megbeszélték a választ, és így az ország diákjai saját átlaguknál jóval eredményesebben oldják meg a problémát. 3) Egy ország földrajzi elhelyezkedése és kultúrája is befolyásolja, hogy egy adott példa a gyerekek számára mennyire megszokott, mennyire számít hétköznapi feladatnak [6].

3. táblázat Természettudományos attitűdök megoszlása 10 éves gyerekek között		
attitűd	magyar	nemzetközi
nagyon szereti tanulni	50%	56%
szereti tanulni	37%	33%
nem szereti tanulni	13%	11%

Tanulói attitűdök a TIMSS 2015 vizsgálat alapján

A 2015-ös TIMSS-vizsgálatok alapján megvizsgálhatjuk, miként viszonyulnak a magyar gyerekek a természettudományok tanulásához. A TIMSS-mérés a gyerekeket három kategóriába sorolja a szerint, hogy a természettudományokat mennyire szereti tanulni. A három kategória a következő: *nagyon szeret* természettudományt tanulni, *szeret* természettudományt tanulni, *nem szeret* természettudományt tanulni. Az egyes országokat a szerint jellemzik, hogy mekkora az egyes kategóriába tartozó gyerekek aránya. Az eredményeket a 3. táblázat tartalmazza.

Az összehasonlításból láthatjuk, hogy elmaradunk a nemzetközi átlagtól. Vagyis a magyar gyerekek kisebb része szeret, vagy nagyon szeret természettudományt tanulni. Ebből az egy összehasonlításból is jól érzékelhető, hogy a természettudományos oktatásban a kedvezőtlen tanulói megítélés már az általános iskola alsó tagozatán is érződik.

További összehasonlításra ad lehetőséget, ha a következő TIMSS-korosztályt, a 14 évesek véleményét is megnézzük. A 4. táblázat tartalmazza a magyar és a nemzetközi eredményeket.

Néhány, TIMSS-vizsgálatban résztvevő országban az általános iskola felsőbb osztályaiban nem tagolják tantárgyakra a természettudományt. Ezen országokban megmarad az integrált természettudományos oktatás. A szeparált formában tanuló országok esetében átlagszámítást végeztünk, ami alapján összehasonlításokat tehetünk. Láthatjuk, hogy nemzetközi viszonylatban is tapasztalható némi attitűdbeli visszaesés a 10 évesek adataihoz képest, és a két oktatási megközelítés között is van – az integrált formában tanulók javára – némi különbség. Azonban egyértelmű, hogy az osztatlan és a tantárgyakra osztott természettudományos oktatás között nincs akkora különbség, ami a hazai gyenge eredményeket (például a „nem szeretem” kategóriájú magyar tanulók száma csaknem duplája a nemzetközi átlagnak) az osztatlan képzéssel magyarázhatná. A probléma másban gyökerezik.

A magyar 10 éves tanulók természettudományi eredmé-

neyei (2015-ös mérésben ez 542 pont volt) nemzetközi viszonylatban is jónak mondhatók, hiszen már a 2003-as vizsgálat óta a legjobban teljesítő európai diákok között vannak. Magyarország átlageredménye a legutóbbi ciklusban számottevően növekedett, 8 képességgponttal, illetve a legelső, 1995-ös vizsgálatához képest nagy arányban, 35 képességgponttal javult. Ez a javulás elsősorban a jó képességű tanulók arányának növekedéséhez kapcsolódik. A magyar tanulók eredményénél jobbat csak nyolc ország ért el, és olyan nemzetek diákjaival vannak azonos tudásszinten, mint Lengyelország, Egyesült államok, Szlovénia, Svédország, Norvégia, Anglia, Bulgária, Csehország [5].

A TIMSS-vizsgálat által lefedett természettudományos tananyag – mint korábban láttuk – a megszokott módon, négy diszciplína köré szerveződik. Ezek az élő világ, a földtudomány, a kémia és a fizika. A felmérés kiterjedt arra is, hogy az egyes tanítók a TIMSS ezen területeiből mennyire érzik felkészültnek magukat. Itt már tapasztalható némi elmaradás, amelyért főleg a fizika és a földtudományok felelősek, hiszen élettudományok területén „hozzuk” a nemzetközi átlagot. Ezek alapján láthatjuk, hogy *Magyarországon az alsó tagozaton oktatott természettudomány első-sorban biológiára épül*, így leginkább e természettudomány folytonossága van a biztosítva a kisiskolás kortól az érettségiig. E tény támogatja alá az is, hogy az egyes területek TIMSS által kijelölt témái közül hány található meg a magyar tananyagban: míg az élő világ terület 7 kijelölt témája közül 6, vagyis 86% megtalálható a magyar tananyagban, addig a fizika és kémia terület 9 kijelölt témájából csak 6, tehát csupán 67% jelenik meg. A földtudományok esetében az arány még rosszabb, a TIMSS által meghatározott 7 témából csupán 1-et fed le a magyar tananyag [7].

Ismét megvizsgálva a 3. és 4. táblázatot, az általános attitűdcsökkenésen kívül megfigyelhető az is, hogy biológia esetében a „nagyon szereti tanulni” rovására elsősorban a „szereti tanulni” aránya nőtt, míg az összes többi tárgy esetében főleg a „nem szereti tanulni” kategóriát választó tanulók aránya növekedett. Ennek oka a folytonosság hiánya lehet, az, hogy a felső tagozatos gyerekek meglepődve, felkészületlenül kapják a fizikai, kémiai, földtudományi ismereteket feldolgozó tantárgyakat.

4. táblázat Természettudományos attitűdök megoszlása 14 évesek között, hazai és nemzetközi átlag						
	nagyon szereti tanulni (%)		szereti tanulni (%)		nem szereti tanulni (%)	
	magyar	nemzetközi	magyar	nemzetközi	magyar	nemzetközi
biológia	27	36	47	46	26	18
földrajz	16	28	40	47	45	25
kémia	15	31	38	44	47	25
fizika	18	27	39	45	43	28
átlag	19	30,5	41	45,5	40,25	24
integrált*	–	37	–	44	–	19

* Azon országok, ahol osztatlan képzésben tanítják a természettudományokat.

Tanítási módszerek a TIMSS vizsgálat alapján

A vizsgálat [6, 8] tanári kérdőíveiben külön kérdéscsoportok foglalkoztak a tanárok munkamódszereinek feltérképezésével, amelyeket az órákon alkalmazott tevékenységek gyakoriságán keresztül igyekeztek megismerni. A természettudományos megismerés és az azzal összefüggő órai tevékenységek fontos eszközei a megértési folyamat előmozdításának és a tudás megszilárdításának.

A tudományos vizsgálat szerepét a természettudományi oktatásban két kérdéscsoporton keresztül vizsgálja meg az elemzés. Az első azzal kapcsolatos, hogy az iskolák számára adottak-e a kísérletezés, a laboratóriumi munka feltételei, rendelkezik-e az iskola természettudományi laboratóriummal. A tanároknak feltett második kérdéscsoport arra vonatkozik, hogy a tanítás során milyen gyakran kéri a tanulóktól, hogy a természettudomány-órákon különböző tevékenységeket végezzenek. A második kérdéscsoportra néhány példa:

1. Figyeljenek meg olyan természeti jelenségeket, mint az időjárás vagy egy növény növekedése, és írják le a látottakat.

2. Figyeljék, ahogy bemutatok egy kísérletet vagy vizsgálatot.

3. Vázoljanak fel vagy tervezzenek meg kísérletet vagy vizsgálatokat.

4. Végezzenek el kísérleteket vagy vizsgálatokat.

5. Adjanak magyarázatot valamire, amit éppen tanulmányoznak.

6. A természettudományból tanultakat hozzák összefüggésbe a mindennapi életükkel.

A tanulókat a tanárok válaszai alapján két kategóriába sorolták. Egyik részük a felsorolt tevékenységeket az órák körülbelül felében vagy annál gyakrabban, másik részük kevesebb, mint az órák felében végzi.

A magyar alsó tagozatos oktatás a legtöbb európai oktatási rendszerrel együtt csak kis mértékben használja a megismerési folyamatának gyakorlását egyes fogalmak és törvényszerűségek mélyebb megértése érdekében. A legjobb eredményt elért négy távol-keleti országnál – Koreánál, Szingapúrban, Japánban és Tajvanban – látjuk, hogy gyakorlatilag a felmérésben részt vett összes iskolájuk rendelkezik természettudományi laborral. A magyar 4. évfolyamos diákok 12%-a járt olyan iskolába, amelyben van önálló természettudományi laboratórium, s ez az adat a nemzetközi egyharmada. E négy országban a tanárok az átlagnál jóval nagyobb hangsúlyt helyeznek arra, hogy a természettudományos vizsgálatokat az oktatás egyik központi elemévé tegyék. A tanulók 31–60%-a az órák több mint a felében végez ezzel összefüggő tevékenységeket.

A 4. évfolyamos mérésben legjobb eredményt elért európai országokra általában az jellemző, hogy – a nemzetközi átlaghoz mérve – a tanulók viszonylag alacsony százalékanak áll rendelkezésére laboratórium az iskolában. Angliában a diákok 8, Új-Zélandon 6, Bulgáriában 4, Belgiumban és Litvániában 2, Hollandiában, Írországból és Franciaországból 1, valamint Észak-Írországból 0%-a számára elérhető az is-

kolai laboratórium. Ugyanakkor az oktatási gyakorlatban sem játszanak jelentős szerepet olyan tevékenységek, amelyek laboratóriumok meglétét igényelnék, hiszen ezen országokban azon diákok aránya, akik legalább minden második órán folytatnak valamilyen természettudományos vizsgálatot összefüggő tevékenységet, 3 és 26% között mozog.

A 4. évfolyamos magyar tanulók közül kevesen végeznek legalább minden második órán természettudományos vizsgálatokat, a tanulók mindössze 6%-a. A jellemző arány nemzetközi szinten 27%, de ez nem is meglepő, hiszen, mint láttuk, a hazánkban felmért tanulók mindössze 12%-a tanul olyan iskolában, ahol természettudományi labor található. A távol-keleti országokban ez majdnem minden tanuló számára elérhető, és a nemzetközi átlag is azt mutatja, hogy a tanulók több mint egyharmadának (38%-ának) már ebben a korban is lehetősége van laboratóriumi munkát végezni.

A 8. évfolyamos tanulók tanárai ugyanezen kérdésre adott válaszai alapján megállapíthatjuk, hogy a jó eredményt elért országokban a tanulók jellemzően 11–25%-a a tanórák legalább felében végez természettudományos vizsgálatot összefüggő tevékenységet. E tevékenységek gyakorisága és a tanulók teszten elért eredményei között csekély mértékű, ámde pozitív összefüggés figyelhető meg. Azon diákok, akik többet mérnek, kísérleteznek az órákon, nemzetközi szinten átlagosan 5 képességponttal jobb az eredményt érnek el, mint azok (490 pont a 485 ellenében), akik ritkábban teszik ezt. Magyarországon a 8. évfolyamos tanulók 13%-a az órák legalább felében végez természettudományos vizsgálatokkal kapcsolatos tevékenységeket. A 8. évfolyam természettudományi mérésében jó eredményt elért országokban gyakorlatilag valamennyi iskola rendelkezik laboratóriummal. Magyarországon nagyjából a diákok egyharmada tanul olyan iskolában, ahol a kísérletezés tárgyi feltételei adottak, és ez megegyezik a 2011-es adattal. Valójában a helyzet ennél árnyaltabb, hiszen az utóbbi években különböző pályázatoknak köszönhetően jöttek létre kiemelt helyszíneken (régikók, főváros, megyeszékhelyek) középiskolákban természettudományos laboratóriumok [8]. Ezek kötelező feladatköréhez tartozik az általános iskolás korosztály számára kísérletes helyszín biztosítása. A nyertes pályázók lelkesen, az órarendi elfoglaltságon kívül is szívesen fogadják a kisiskolás diákokat, szerveznek a kisgyermekek számára is vonzó foglalkozásokat (például a Szegedi Tudományegyetem Gyakorló Gimnáziuma SzeReTed laboratóriumában kétheti rendszerességgel működő *Titkok padlása* [9]). Ugyancsak szegedi kezdeményezés a Szent-Györgyi Agórában a *Játsszunk Tudományt!* szakkör és nyári tábor, ahol 6–10 éves gyermekek foglalkoznak természettudományos kísérletekkel, játékos formában [10].

Irodalom

1. Ostorics L., Szalay B., Szepesi I., Vadász Cs.: *PISA 2015 összefoglaló jelentés*. Okt. Hiv., Budapest, 2016. https://www.oktatas.hu/pub_bin/dload/kozoktat/nemzetkozi_meresek/pisa/PISA2015_osszefoglalo_jelentes.pdf

2. Csapó B.: *A fizikaoktatás feladatai a nemzetközi felmérések tükrében*. Konferencia előadás, https://www.kfki.hu/elftkisk/60%20Anket/Eloadasok2017/Csapo_B.pdf
3. Papp K.: Ami a számszerű eredmények mögött van... *Fizikai Szemle* 51/1 (2001) 26–34, <http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz0101/papp.html>
4. TIMSS 2015 honlap, <http://timss2015.org>
5. Szalay B., Szepesi I., Vadász Cs.: *TIMSS 2015 Összefoglaló jelentés*. Okt. Hiv., Budapest, 2016. https://www.oktatas.hu/pub_bin/dload/kozoktat/nemzetkozi_meresek/timss/TIMSS2015.pdf
6. M. O. Martin és munkatársai: *TIMSS 2015 International Results in Science* (2016). <http://timss2015.org/wp-content/uploads/filebase/full%20pdfs/T15-International-Results-in-Science.pdf>
7. I. V. S. Mullis és munkatársai: *TIMSS 2015 Encyclopedia*.
8. <http://tetudod.bjg.hu/index.php/kapcsolatok/oveges-laboratoriumok>
9. <http://www.szereted.hu/>
10. Molnár M., Papp K.: Természettudományos nevelés kisgyermekkorban. *Fizikai Szemle* 64/3 (2014) 74–79., http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1403/MolnarM_PappK.pdf

HÍREK – ESEMÉNYEK

BRÓDY IMRE ORSZÁGOS FIZIKA KÍSÉRLETVERSENY

A Nyíregyházi Arany János Gimnázium, Általános Iskola és Kollégium, valamint a Nyíregyházi Egyetem *Bródy Imre Országos Fizika Kísérletversenyt* hirdet 7–12. osztályos tanulók számára.

A verseny célja: a tanulók természettudományos ismereteinek bővítése, a fizika megszerettetése, az elméleti ismeretek gyakorlati alkalmazhatóságának felismertetése, és lehetőséget szeretnénk biztosítani a diákok kreatív ötleteinek megvalósítására és bemutatására.

Nevezési határidő: 2018. május 11., a versenyre a nevezés díjtalan.

A nevezési lap az itt látható QR-kód segítségével letölthető, vagy Nyíregyházi Arany János Gimnázium, Általános Iskola és Kollégium www.nyharany.hu honlapján megtalálható. A nevezéseket a brodyfizika@gmail.com címre, vagy az iskola 06-42-512-822-es faxszámára, küldhetik el!

Az országos döntő időpontja: 2018. május 18., péntek, 11⁰⁰-tól körülbelül 17⁰⁰-ig.

A verseny helyszíne: Nyíregyházi Arany János Gimnázium, Általános Iskola és Kollégium, 4400 Nyíregyháza, Ungvár sétány 22.

A verseny várható programja:

11⁰⁰–12⁰⁰ érkezés, regisztráció,
12⁰⁰–13⁰⁰ a versenyzők eszközeinek bemutatása/
megtekintése az iskola aulájában,
13⁰⁰ megnyitó,
13¹⁵–15⁰⁰ a versenyek szekciónkénti lebonyolítása,
16⁰⁰ eredményhirdetés.

A versenyzők a verseny során külső segítséget nem vehetnek igénybe. A kísérők (szülők, tanárok) a nézőtérre foglalnak helyet, és semmilyen módon nem segíthetik a versenyzőket.

Díjak: az összes tanuló emléklapot kap. Minden kategóriában az 1–3. helyezettek oklevél, könyv vagy értékes tárgyjutalomban részesülnek, valamint – a zsűri értékelése alapján – különdíj is adható. A legtöbb versenyzőt indító kolléga felkészítő munkáját tárgyjutalommal ismerjük el.

Jelentkezni az ország bármely általános és középiskolájából az alábbi kategóriákban lehet. A versenyzők a korosztályuk számára kiírt kategóriánál magasabb szinten is indulhatnak.

I. kategória

Teheremelő elektromágnes készítése (7. évfolyamos tanulók részére)

A feladat egy teheremelő elektromágnes-modell készítése, amely egy darab (hozott, saját) 4,5 V-os lapos-elemmel működtethető. Az elektromágnes saját munka legyen, más eszközből egyben kibontott tekercsek és vasmagos tekercsek nem használhatók. A verseny során egy körülbelül 15 cm × 15 cm felületű, sík vaslapot biztosítunk, amire az elektromágnes vasmagja felfeküdhethet. A terhelést a vaslap aljára, kampók segítségével lehet felakasztani. Mindenki hozzon magával súlyokat is! A versenyzőnek az elektromágnes felfüggesztését is meg kell oldania, amihez majd egy vízszintesen elhelyezett ¾"-os vascsövet biztosítunk. A bemutatáshoz majd 5 perc áll rendelkezésre.

Az értékelés szempontjai:

- az eszköz működőképessége,
- a verseny elsődleges célja a lehető legnagyobb teher felemelése és minimum 10 másodpercig megtartása,
- az eszköz bemutatásának, a működési elv magyarázatának színvonala, a magyarázat érthetősége, szakmai korrektsége, a versenyző válasza a zsűri esetleges, a modell működésével és a megépítéssel kapcsolatos kérdéseire,
- a megvalósítás ötletessége, az eszköz „szépsége”, a ráfordított munka mennyisége.

II. kategória

Távcső készítése (8. évfolyamos tanulók részére)

A feladat egy saját tervezésű (lencsék és/vagy tükrök felhasználásával készített) távcső építése, amivel a verseny során a távcsőtól nagy távolságban (minimum

25 méterre) elhelyezett apró méretű tárgyakat kell megfigyelni, mint például óra kijelzőjét, vagy a mutatók állását leolvasni. (Célszerű stabil állványon elhelyezni a távcsövet.)

Az értékelés szempontjai:

- az eszköz működőképessége,
- az győz, aki az adott távolságból a legkisebb méretű kijelzőt is hibátlanul le tudja olvasni,
- az eszköz bemutatásának, a működési elv magyarázatának színvonala, a magyarázat érthetősége, szakmai korrektsége, a versenyző válasza a zsűri esetleges, a modell működésével és a megépítéssel kapcsolatos kérdéseire,
- a megvalósítás ötletessége, a modell szépsége, a ráfordított munka mennyisége.

III. kategória

Kedvenc fizikakísérletem (7–8. évfolyamos és 9–11. évfolyamos tanulók részére, külön szekcióban)

A feladat egy nem hétköznapi, érdekes *kísérlet bemutatása saját készítésű*, lehetőleg újrhasznosítható anyagok (például pillepalack, konzervdoboz, üdítősdoboz stb.) felhasználásával készített *eszközzel*. A témakör szabadon választható!

A készítésnél nem használhatók fel a kereskedelmi forgalomban készen kapható alkatrészek! (Kivéve alapanyagok, áramforrás, a bemutatáshoz szükséges fogyasztó stb.)

Egy versenyző egy kísérletet mutathat be (legfeljebb egy kísérlet több változata engedhető meg, például bizonyos körülmények, paraméterek megváltoztatásával). Több, különböző kísérletből álló kísérlet-sorozatokat nem értékelünk.

A bemutatás során ki kell derülnie annak, hogy a versenyző érti, hogy milyen jelenséget mutat be a kísérlet, és képes annak megfelelő magyarázatát megadni. A zsűri kérdéseket tehet fel a versenyzőnek a kísérlettel, az eszközzel és annak működésével, készítésével kapcsolatban. A magyarázat nélküli kísérletbemutatás nem tekinthető versenyképesnek. A kísérlet bemutatásához és magyarázatához 5 perc áll rendelkezésre.

A felkészítő tanárnak ügyelnie kell arra, hogy a versenyző az életkorának és ismereteinek megfelelő kísérletet mutasson be.

A kísérlet nem lehet olyan, amely – esetleges hibás bemutatás esetén – a versenyző vagy mások sérülését okozhatja. Nem használhatók, többek között: robbanásveszélyes gázok (például PB-gáz), illetve tűz- és

robbanásveszélyes folyadékok (például benzin) nyílt lánggal, nagy elektromos feszültség, nagy nyomás (például kompresszor). Az ilyen kísérleteket a zsűri veszélyesnek ítélni és a bemutatást leállíthatja.

Az értékelés szempontjai:

- az eszköz működőképessége,
- a kísérlet bemutatásának színvonala, a magyarázat érthetősége, szakmai korrektsége, a szaknyelv használata,
- a zsűri kérdéseire adott válaszok korrektsége, érthetősége,
- az eszköz megépítésének ötletessége, a kivitelezés minősége, a ráfordított munka mennyisége.

IV. kategória

Elektronikaszekció (elsősorban 9–11. évfolyamos tanulók részére)

A feladat egy saját készítésű elektronikus mérleg készítése, amely 1 kg alatti, ismeretlen tömegű test (például kódarab) tömegének pontos meghatározására és az érték megjelenítésére képes. A versenyző feladata az eszköz tervezése, mikrokontrollerek és megfelelő tartozékok, érzékelők felhasználásával történő megépítése és bemutatása, valamint a tömegmérés. Az eszköz ötlete, annak működése, funkciói stb. szabadon választható/tervezhető, egyébként különálló alkatrészekből felépített saját, önálló munka legyen!

Egy versenyző egy eszközt mutathat be. A bemutatás során ki kell derülnie, hogy az valóban a saját munkája, hogy annak felépítését, hardveres és szoftveres működését érti, be tudja mutatni és el is tudja magyarázni. Ezzel kapcsolatban a zsűri kérdéseket tehet fel a versenyzőnek. A bemutatáshoz 5 perc áll rendelkezésre.

Az értékelés szempontjai:

- az eszköz működőképessége,
- az ismeretlen tömeg minél pontosabb meghatározása,
- a bemutatás színvonala, a magyarázat érthetősége, szakmai korrektsége, a szaknyelv használata,
- a zsűri kérdéseire adott válaszok korrektsége, érthetősége,
- az eszköz megépítésének ötletessége, a kivitelezés minősége, a ráfordított munka mennyisége.



Minden jelentkezőnek izgalmas és tartalmas versenyzést kívánnak *Kiss Lászlóné* (mobil: 06-30-627-2864) és *Beszeda Imre* versenyszervezők.

tudós leszek fizikából

feladatmegoldó szakkör középiskolásoknak

A tavaszi félévben is folytatódik a 9–10. osztályos középiskolásoknak szóló „Tudós leszek fizikából” című feladatmegoldó szakkör az ELTE-n. A foglalkozásokra minden héten **kedden, 15:15 és 17:00** óra között kerül sor az **ELTE TTK Fizikai Intézetében** (1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A.), a 210-es teremben (hajóorr). A szakkörre **előzetesen jelentkezni nem kell**, elég megjelenni a szakköri foglalkozások bármelyikén. A szakkör mindenki számára nyitott és ingyenes. Részletek: <http://tudosleszek.elte.hu/>



Diósi Lajos: BEVEZETÉS A KVANTUMINFORMÁCIÓ-ELMÉLETBE – az elméleti fizika oldaláról

Typotex, 2017, 158 oldal, ISBN: 978-963-2799-78-0

A 20. században a fizika több nevezetes ponton is összekapcsolódott az információ fogalmával: amikor a fénysebesség, mint legnagyobb sebesség adódott a kauzalitást sértő információterjedés tilalmából; amikor *Claude Shannon* információt mérő matematikai kifejezésére rápillantva kiderült, hogy az egy fizikai konstans szorzótól eltekintve a Boltzmann–Gibbs-entrópiával egyezik; végül, amikor a kvantummechanika megkerülhetetlen részévé vált a mérés, mint információszerezés folyamata. Mindez egyrészt megnyitotta az utat afelé, hogy fizikai folyamatokat az információ fogalomkörében tudjunk vizsgálni, másrészt óriásian megnövelte a fizika szerepét új, hatékony információhordozó és -kezelő eszközök előállításában. Ezen belül, főként a kvantumszámítógép álma miatt, ami talán már több, mint álom, néhány évtizede megszületett a kvantuminformáció-elmélet, és mára sokoldalú és intenzív kutatás tárgya lett. A kvantumelmélet bevonása az információkezelés játszmáiba a fizika alapjainak és az alkalmazásoknak egyaránt új dimenzióit nyitotta meg.

Diósi Lajos a kvantum dinamika és a klasszikus fizika közötti, még távolról sem felderített átmenet elméletének aktív és sikeres kutatója. Mivel azonban ezen átmeneti terület informatikai vonatkozásai ma még a fantázia birodalmába tartoznak (lásd *Nicolas Gisin* és *Florian Fröwis* „vélemény-cikkét”, <https://arxiv.org/pdf/1802.00736>), a szerző a kvantuminformáció tanítása és a jelen könyv megírása kedvéért ez alkalommal megmarad a különálló kvantum- és klasszikus világ kettősségén alapuló, *Niels Bohr* és *Neumann János* nevével fémjelzett „mindennapi” kvantummechanika keretein belül, és eredeti elemzését adja elő a két világ információt hordozó és kezelő tulajdonságainak, felmutatva a sok egyezést és a kevés, de annál fontosabb eltérést kvantum- és klasszikus információ között.

E könyv Typotex kiadónál most megjelent magyar kiadását tartom kezemben, amely a 2011-es második angol nyelvű kiadásának a szerző által készített fordítása. A tankönyvtől a monográfiáig húzódó vonal mentén nem könnyű elhelyezni: már megszerzett ismereteink tágítására, új színekkel való megvilágítására, rejtett összefüggésekre való rácsodálkozásra kiváló, ha viszont a kvantummechanikát már tanult olvasó a témakörrel való első ismerkedésre használja, akkor ez a vékony könyv alaposan meg fogja dolgoz-

tatni, ami meglepheti azt, aki már megemelte *Nielsen* és *Chuang* remek tankönyvét – ott semmit se bíznak a véletlenre, itt felnőttek nézik az olvasót.

Diósi könyvének visszatérő módszere egy-egy téma klasszikus fizikai leírása, hogy utána annál élesebben mutakozzék meg mindaz, amiben a kvantumos világ ettől eltér. A témák, amelyeket a könyv e megközelítésben végigjár, lefedik a kvantumos információkezelés ma már klasszikusnak mondható alapjait, és azok kapcsolódását a hagyományos matematikai információelmélethez – már csak ezért is jó szívvel ajánlható mindazoknak, akik az éppen időszerű technikai fejlesztéseket kutatva, néha elmennek az alapokból kínálkozó lehetőségek mellett. A könyv vége a qubitek – kvantumbitek – termodinamikáján keresztül bepillantást enged a rohamosan fejlődő kvantum-termodinamika azon sarkába, ahol az egy-két bites hőerőgépek és hűtők zakatolnak; szép példája a termodinamikai és az informatikai entrópiafogalom összeolvadásának.

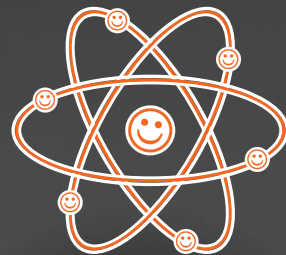
Egy rendes könyvismertetésben negatívumokat is illik említeni. Tartalmilag hiányoltam a kvantumszámítógépek azon fajtájának megemlítését, amely egyáltalán nem a logikai kapukból összerakott, hagyományos számítógép-architektúrára épül, hanem egy adott célra: valamilyen számszerűsíthető szempont szerinti optimalizálásra irányul, és ezt a „kvantumos hőkezelés” módszerével éri el: egy effektív hőmérséklet lassú csökkentésével, időt engedve a rendszernek, hogy egy energiának öltöztetett mennyiség bonyolult környezetben is megtalálja a legjobb minimumát, vagy legalábbis egy majdnem legjobbat. Ezt a témát azért érzem ma már alig kihagyhatónak, mert ilyen kvantumszámítógép már van („d-wave” és variánsai), a hagyományos Neumann János-féle (igen, kedves olvasó, az a félelmetes, amivel kódokat lehetne feltörni) pedig még mindig csak álom.

Diósi Lajos könyvét mindezzel együtt melegen ajánlom azoknak, akiket érdekel a kvantuminformáció-elmélet varázslatos világa, és rászánják a fáradságot, hogy kövessék a szerző néha mérföldes léptekkel haladó, de mindig a kemény logika keretei között maradó gondolatmeneteit. Az információelméletben szokásos egyenlőtlenségek szellemében szólva, a könyv sokszorosan rövidebb a Nielsen–Chuangnál, de rendszeren elolvasni nem annyi szor rövidebb időbe fog telni. Akkor is, megéri hozzáfogni.

Geszti Tamás



Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat szervezésében



2018.
ÁPRILIS
20-21.

A FIZIKA MINDENKIÉ 4.0



ISSN 0015325-7
9770015-325009 18003

A fizika mindenkié 2018-ban is! A tiéd, miénk és mindenkié. Fizikázz tanároddal, barátaiddal, szüleiddel; végezz kísérletet, vagy építs új eszközt, hallgass vagy szervezz előadást! E két napon szóljon minden a fizikáról! Vegyél részt, regisztráld a programod, és ünnepeljük együtt a fizika kérdéseit és csodás eredményeit! Hiszen a fizika segítségével adunk választ számos, a társadalmat érintő problémára, például energia, közlekedés, kommunikáció, környezetvédelem; amelyek mindannyiunk életét befolyásolják.

Mert a FIZIKA MINDENKIÉ!



Információért látogass el weboldalunkra:

AFIZIKAMINDENKIE.KFKI.HU

Támogatók:

